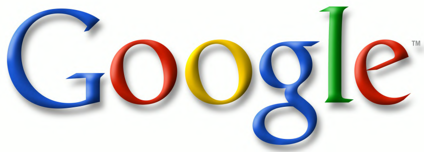



1837
ARTES
VERITAS
SCIENTIA
LIBRARY OF THE
UNIVERSITY OF MICHIGAN
TUEBOR
CIRCUMSPICE



Offert au Comité des Sociétés Savantes par l'auteur B. Renault

BIBLIOTHÈQUE SCIENTIFIQUE CONTEMPORAINE

LES

Plantes Fossiles

Principaux ouvrages du même Auteur

Thèses de physique et de chimie, 1867, Annales de chimie et de physique avec planches.

Mémoire sur l'organisation des tiges d'Annularia, Annales des sciences naturelles, 10 planches.

Sur l'organisation des tiges de Zygopteris, Annales des sciences naturelles, 10 planches.

Études sur le genre Bothryopteris, Annales des sciences naturelles, 6 planches.

Étude sur le Sigillaria spinulosa, sur le genre Myelopteris. (Mémoires des Savants étrangers à l'Académie, t. XII, 12 planches, et tirage à part. J.-B. Baillière et fils.)

Recherches sur la structure et les affinités botaniques des végétaux silicifiés recueillis aux environs d'Autun et Saint-Étienne, 30 planches.

Nouvelles recherches sur la structure des Sphenophyllum, 3 planches.

Étude sur les Stigmaria (rhizomes et racines) de Sigillaire, 3 planches.

Sur le genre Astromyelon (racines des Calamodendrées), 3 planches.

Cours de Botanique fossile fait au Museum d'Histoire naturelle : I. Cycadées, Zamiées, cycadoxylées, cordaitées, etc. 1881, 22 planches ; — II. Lepidodendrées, Sphenophyllées, Asterophyllitées, etc., 1882, 24 planches ; — III. Fougères, 1883, 36 planches ; — IV. Conifères, Gnétacées, 26 planches ; — V. Calamodendrées, 40 planches (sous presse).

Structure comparée de quelques tiges de la flore carbonifère, 8 planches.

Notice sur les Sigillaires, 3 planches, 1888.

Recherches sur les Poroxylons (en collaboration avec M. E. Bertrand) ; 80 figures intercalées dans le texte, 1888.

CHARTRES. — IMPRIMERIE DURAND, RUE FULBERT.

LES

Plantes Fossiles

PAR

B. RENAULT

DOCTEUR ÈS SCIENCES
AIDE-NATURALISTE AU MUSÉUM D'HISTOIRE NATURELLE
LAURÉAT DE L'INSTITUT.

Avec figures intercalées dans le texte



PARIS

LIBRAIRIE J.-B. BAILLIÈRE ET FILS

RUE HAUTEFEUILLE, 19, PRÈS DU BOULEVARD SAINT-GERMAIN

1888

PRÉFACE

Nous désirons, dans ce livre, appeler l'attention sur l'importance, à divers titres, du rôle tenu par les plantes qui ont précédé celles qui vivent encore sous nos yeux. Il n'y a plus à douter, en effet, que la houille ne doive son origine à des masses énormes de végétaux : ce sont leurs dérivés qui nous ont conservé sous forme de combustible une quantité incommensurable de l'énergie solaire dépensée pendant la grande série de siècles écoulés avant l'apparition de l'homme, et il n'y a aucune exagération à déclarer que ce que nous appelons notre civilisation, notre puissance actuelle sur les phénomènes de la nature, ne soit la conséquence immédiate de l'existence des plantes fossiles.

Un chapitre spécial sera attribué, dans ce volume,

au *rôle des plantes dans la formation de la houille et d'autres combustibles.*

En même temps que les premières couches sédimentaires se déposaient à la surface du globe, les premières plantes apparaissaient de leur côté; elles se sont succédé nombreuses et variées : les espèces ont succédé aux espèces, les familles aux familles, montrant parfois une merveilleuse souplesse et toujours une étonnante diversité. Comme les terrains formés au sein des eaux nous ont conservé, entre leurs feuillets schisteux, une partie de ces espèces, que ces espèces varient souvent d'une couche sédimentaire plus ancienne à une autre plus récente, leur connaissance peut, à défaut de tout autre caractère, établir avec certitude l'ordre chronologique de ces terrains. Nous croyons donc utile de consacrer un autre chapitre à la *répartition de quelques espèces végétales remarquables dans les principales couches du globe.*

Les changements amenés dans les caractères de ces espèces, par les modifications lentes mais toujours dirigées dans le même sens du milieu et du climat, se sont accentués de plus en plus, les différences entre les espèces qui pouvaient se maintenir et celles qui apparaissaient à des époques plus récentes sont devenues plus considérables, et il existe actuellement d'immenses lacunes entre certains groupes, dont les uns ont conservé, par une sorte d'atavisme, les caractères des plantes

anciennes, et les autres ont revêtu ceux plus appropriés aux conditions actuelles d'existence. Nous exposerons donc dans un troisième chapitre quelques faits relatifs à cette sorte d'*évolution végétale*.

Faire connaître quelques *types végétaux* est évidemment indispensable pour appuyer par des exemples les données contenues dans ces trois chapitres et les conséquences qu'on en peut tirer, nous décrirons dans ce but, avec détails, quelques-uns de ces types.

Mais d'un autre côté, pour ceux des lecteurs qui trouveraient que le rôle des plantes anciennes est important, et que l'intérêt qui s'attache à leur étude est assez grand pour les décider à porter leur temps ou leurs loisirs dans cette direction, nous commencerons ce livre par quelques conseils sur *la récolte, la préparation et la conservation des végétaux fossiles*.

Mai 1888.

INTRODUCTION

GLOSSAIRE

CONTENANT L'EXPLICATION DES MOTS TECHNIQUES OU PEU USITÉS

A

ACOTYLÉDONES (plantes)[1], sont celles qui ne sont pas issues d'une graine.

Ce mot s'emploie pour désigner l'ensemble des plantes cryptogames, par opposition aux plantes phanérogames se reproduisant par graine et qui, au moment de la germination, montre tout d'abord une feuille (p. monocotylédones) ou deux feuilles (p. dicotylédones). Ex. : un grain de blé, une graine de haricot.

ADVENTIFS. Se dit des racines qui naissent sur les tiges ou les rameaux. Se dit aussi des bourgeons qui naissent, tantôt épars sur la tige et ne sont ni terminaux ni placés à l'aisselle des feuilles, tantôt sur les feuilles mêmes.

1. Du grec κοτυληδων, petite feuille accompagnant la semence, et α, sans (sans feuilles séminales).

AILE. Prolongement membraneux faisant saillie sur une surface, autour d'une graine (graine de sapin par ex.).

ALBUMEN. Tissu contenant les aliments réservés à l'embryon au moment de la germination et qui lui permettent de se développer seul pendant quelque temps, il est farineux dans le blé, oléagineux dans le pavot, dur et corné dans le café.

ALTERNE. Se dit en général des organes qui ne sont pas placés vis-à-vis des autres, sur un rameau de chêne les feuilles sont alternes.

ANASTOMOSE. Point de réunion de deux nervures.

ANTHÈRE. Petits sacs ordinairement placés à l'extrémité d'un filet au milieu de la corolle des fleurs, et remplis d'une poussière jaune qui porte le nom de pollen. Ex. : fleur du lys.

ANTHÉRIDIE. Petits sacs naissant sur un prothalle chez beaucoup de plantes cryptogames (Fougères, Prêles, etc.) et contenant des corps mobiles dans l'eau, *Anthérozoïdes, x,* fig. 32, destinés à féconder l'*oosphère* contenu dans l'*Archégone*, les mouvements sont favorisés par la présence de filaments très fins, *cils vibratils,* placés aux extrémités de l'anthérozoïde qui très souvent a la forme d'un ruban roulé en spirale.

ANTHÉROZOÏDE. Corps cilié mobile accomplissant chez certains cryptogames l'acte fécondateur, rempli par le tube pollinique chez les plantes phanérogames.

APÉTALE (fleur). Fleur dépourvue de pétales. Ex. : Aristoloche.

APPENDICULAIRES (organes). Ce sont diverses expansions latérales nées d'un axe, tels que feuilles, rameaux, racines, etc.

ARBORESCENT. Qui atteint la taille d'un arbre.

ARCHÉGONE. Petits sacs qui se développent en nombre variable dans le prothalle issu de la germination de la spore chez certaines cryptogames (Fougères, Prêles, etc.) ou

dans le prothalle qui remplit la macrospore (Isoètes, Lepidodendron), fig. 32, *z*, *p*, ou dans le prothalle qui remplit le sac embryonnaire des Gymnospernes, fig. 32, A, *l*, *f*. Ce sac renferme une ou plusieurs masses protoplasmiques *oosphères* sans enveloppe, la fécondation s'effectue par des Anthérozoïdes chez les Cryptogames, par le protoplasma du tube pollinique chez les Phanérogames gymnospermes. Après la fécondation l'oosphère devient une individualité en s'entourant d'une membrane de cellulose et formera l'embryon par des divisions cellulaires successives.

ARTICLE. On donne ce nom à une série de pièces toutes semblables entre elles placées les unes à la suite des autres. Ex.: les tiges, les rameaux des prêles, fig. 9.

ARTICULATION. Point de jonction entre deux parties semblables ou non, par lequel elles peuvent se séparer l'une de l'autre sans déchirement sensible à une époque déterminée de leur vie.

ARTICULÉ. Se dit de deux pièces unies ensemble par une articulation.

AURICULÉ. Organe pourvu d'expansions latérales nommées *oreillettes*.

AXILLAIRE. Se dit des bourgeons qui naissent au-dessus du point d'insertion des feuilles à leur *aisselle*.

B

BI-FIDE (organe) qui se divise en deux parties sensiblement égales.

BI-PENNÉE. Feuille composée, dans laquelle les pétioles secondaires au lieu de se terminer chacun par une foliole constituent autant de feuilles pennées.

BOIS. Toutes les plantes vasculaires ou à racines renferment des faisceaux. Les faisceaux sont toujours formés de

deux parties, l'une ligneuse et l'autre libérienne. La partie ligneuse ou le bois peut comprendre des éléments divers, trachées, trachéides, vaisseaux, parenchyme ligneux, fibres ligneuses, etc. La partie libérienne ou liber de son côté peut être formée de cellules grillagées, de parenchyme libérien, de fibres libériennes, etc.

Dans un grand nombre de dicotylédones, les faisceaux libéro-ligneux se groupent de façon à former un cylindre continu, le bois à l'intérieur, le liber en dehors, le tout entourant une moelle centrale, fig. 47. Une zone génératrice placée entre la partie ligneuse et la partie libérienne du faisceau produit pendant toute la vie de la plante du bois du côté du bois primitif ou primaire et du liber du côté du liber primaire.

Le bois dû à l'action de la zone génératrice montre ordinairement ses éléments disposés en séries rayonnantes, son accroissement se fait du centre à la périphérie, il est dit bois *secondaire centrifuge*. Le liber s'accroît au contraire, mais assez faiblement, de dehors en dedans, puisque la zone génératrice *c*, fig. 47, est à l'intérieur du premier liber, ces couches de liber sont désignées sous le nom de liber *secondaire* et son accroissement en épaisseur est centripète.

La très grande majorité des plantes monocotylédones et cryptogames ne présente pas de zone génératrice entre le bois primaire et le liber primaire, par conséquent les faisceaux libéro-ligneux ne prennent pas d'accroissement ultérieur.

BOIS CENTRIPÈTE. Dans toutes les racines, la partie ligneuse du faisceau libéro-ligneux, à partir de l'apparition des premières trachées, s'accroît ou se *différencie* (comme on le dit souvent) de la périphérie au centre, le bois primaire des racines est donc toujours centripète. Quand il se produit du bois secondaire comme cela se présente dans un grand nombre de phanérogames, ce bois est

rayonnant et a un développement centrifuge analogue à celui des tiges.

Certaines plantes anciennes (Lepidodendron, etc.), fig. 32 C, fig. 31 B, n'ont eu que du bois centripète.

D'autres (Sigillaires) ont eu à la fois du bois centripète et du bois centrifuge, fig. 31 A.

Le bois centripète est toujours caractérisé par l'absence d'ordre dans ses éléments et par cette particularité que ces éléments présentent sans exception un diamètre plus considérable vers le centre de l'organe que dans la région où ils ont commencé à se produire.

BOURGEON. Jeune rameau se développant ordinairement à l'aisselle d'une feuille.

BRACTÉES. Feuilles plus ou moins modifiées. Ex.: feuilles qui forment les cônes de pin ou de sapin.

C

CANNELÉE (tige). Tige relevée de côtes longitudinales séparées par des sillons. Ex.: tige des prêles, fig. 11.

CARÈNE. Bord inférieur rétréci et saillant d'un organe.

CELLULE. Cavités closes de forme extrêmement variable entrant dans la constitution des végétaux, l'enveloppe est composée de cellulose, le contenu qui est la partie vivante de la cellule est formé de suc cellulaire renfermant différents sels en dissolution, et de petites masses de substances organiques azotées à composition extrêmement variable et complexe, que l'on désigne sous le nom de *protoplasma;* c'est à l'activité de ce dernier qu'est due la plupart des phénomènes chimiques et physiologiques qui se passent dans les cellules.

CENTRE (de différenciation). Point d'un tissu homogène à partir duquel les cellules commencent à prendre des formes particulières.

CHALAZE. Partie de la graine opposée au *micropyle.*

CHATON. Epi formé de fleurs mâles. Ex. : épi du noisetier.

CÔNE. Sorte d'épi dont les bractées fructifères contiguës affectent une forme conique. Ex.: Sapin; pin, Lépidodendron, etc.

COTYLÉDONS. Premières feuilles qui apparaissent nettement lors de la germination des graines.

CRYPTOGAMES. Plantes qui se reproduisent au moyen de spores de différente nature et non au moyen de graines. Dans beaucoup de plantes cryptogames la fécondation est effectuée par des corps mobiles et ciliés, *Anthérozoïdes* se déplaçant dans l'eau.

CUTICULE. Membrane mince doublant extérieurement le tissu épidermique de certains organes, *feuilles*, *pétioles.*

D

DÉCURRENTES. Feuilles dont le limbe se prolonge sur la tige avant de s'en détacher.

DÉHISCENCE. Acte par lequel une enveloppe *Anthère, sporange, sporocarpe* s'ouvre pour laisser échapper son contenu.

DICHOTOME. Organes divers, tiges, racines, nervures, qui se divisent une ou plusieurs fois successivement en deux branches sensiblement égales.

DIFFÉRENCIATION. Se dit des cellules qui prennent des caractères particuliers au milieu des autres qui ne se modifient pas.

DISTIQUES. Feuilles naissant de nœuds alternes placés sur deux rangs à droite et à gauche. Ex.: *if.*

E

ECAILLE. Lame coriace ou charnue de couleur variable repré-

sentant un organe appendiculaire quelconque, *feuille*, *bractée*, etc.

ECORCE. Couche externe de la tige, comprenant chez les dicotylédones, l'épiderme, le liège, une assise parenchymateuse ou couche herbacée, etc. Dans les monocotylédones l'écorce est souvent formée par les bases persistantes des feuilles dont le limbe a été détruit.

ENTRE-NŒUD. Intervalle qui sépare dans les rameaux ou tiges articulées deux articulations voisines.

EPI. Inflorescence dans laquelle les pédicelles formant les axes secondaires sont nuls ou presque nuls, de sorte que les fleurs sont sessiles.

EPIDERME. Membrane mince transparente souvent incolore, qui s'étend sur toute la surface du végétal et se compose de cellules aplaties intimement unies entre elles.

EPIPHYLLE. Se dit d'organes insérés sur les feuilles.

EQUISÉTIFORME. Tige présentant le port, l'aspect d'une *prêle*, d'un *equisetum*.

ESPÈCE. On désigne sous le nom d'espèce une réunion d'individus végétaux qui ont ensemble une ressemblance telle que l'on peut supposer qu'ils proviennent tous originairement du même individu, et pouvant se reproduire entre eux.

ETAMINES. L'étamine complète comprend un filet et une ou plusieurs loges nommées anthères, contenant à la maturité les grains de pollen.

F

FAISCEAU (libéro-ligneux) composé d'une portion ligneuse et d'une partie libérienne (monocentre), quand il n'y a qu'un seul centre trachéen de différenciation (bi-tri-centre) quand il y en a deux ou trois. Ex. de bi-centre fig. 36 L, G, *a*, de tricentre E, *a*, *t*.

FAISCEAU (diploxylé). Quand la partie ligneuse est formée de deux bois l'un à différenciation centripète (cryptogamique) l'autre à différenciation centrifuge (phanérogamique). Ex. : faisceau foliaire des cycadées, des stigmaria fig. 36 F, *a, b,* de la tige des sigillaires, fig. A. *a, b.*

FÉCONDATION. C'est l'acte par lequel l'oosphère des plantes phanérogames ou cryptogames devient apte à se développer plus tard en embryon ; l'élément fécondateur est apporté dans les phanérogames par le pollen, dans les cryptogames par les anthérozoïdes.

FIBRES. Cellules allongées, pointues aux deux bouts en forme de fuseau que l'on trouve soit dans le bois (fibres ligneuses) soit dans le liber (fibres libériennes) et qui jouent un rôle mécanique, de soutien, dans ces deux régions du système libéro-ligneux.

FISTULEUX (tige) présentant une cavité centrale entre les articulations. Ex. : tige du froment.

FLEUR. La fleur complète se compose de plusieurs verticilles de feuilles modifiées, le plus extérieur est le *calice* généralement vert. Le second la *corolle* placé en dedans revêtu de la couleur caractéristique des fleurs, les divisions de la corolle quand elle est formée de plusieurs parties se nomment pétales. Le troisième verticille est constitué par les étamines ou organes mâles renfermant dans les sacs appelés *Anthères* la poussière fécondante ou *pollen*. Le quatrième verticille plus interne porte le nom de *pistil*. C'est l'organe femelle des fleurs. Si les fleurs renferment à la fois les étamines et le pistil elles sont dites *hermaphrodites ;* si elles ne renferment que les organes mâles (étamines), ou les organes femelles (pistil) et de plus qu'elles soient portées par le même pied, elles sont dites *monoïques*. Si au contraire elles sont portées par deux pieds différents de la même espèce, on les désigne sous le nom de *dioïque,* δισ-οικος (deux habitations diffé-

rentes). Comme exemple de fleur hermaphrodite, on peut citer la fleur de pêcher, de lis, etc., de fleur monoïque, la fleur du pin, du sapin, de fleur dioïque, la fleur du saule, du palmier, etc.

FRUIT. C'est le pistil dont les ovules ont été fécondés et mûris en même temps que les enveloppes ovariennes. La pêche est un fruit dans lequel l'amande est l'ovule dont certaines parties après la fécondation se sont développées en embryon et plantule, l'enveloppe jaune de l'amande sont les téguments de l'ovule (primine et secondine). Le noyau, la chair de la pêche et la peau extérieure proviennent du développement des parois de l'enveloppe (ovaire) qui renfermait l'ovule, les botanistes leur ont donné les noms d'*endocarpe, mésocarpe* et *épicarpe.*

FRUTESCENT. Se dit des plantes atteignant seulement la taille des arbrisseaux.

GAINE. On donne ce nom à la partie pétiolaire des feuilles, quand elle se dilate en fourreau embrassant la tige. Les feuilles verticillées en se soudant peuvent également former une Gaîne. Ex. : prêle, fig. 9.

GENRE. On désigne ainsi un groupe naturel d'Espèces qui ont entre elles une ressemblance manifeste, principalement dans les organes de la reproduction.

GRAINE. La graine est le résultat de la maturation de l'ovule fécondé par le *pollen.* Elle se compose dans un grand nombre de cas d'un corps très petit, embryon développé ou *plantule,* d'un parenchyme accessoire contenant des matières de réserve pour la nutrition de la plantule au moment de la germination *albumen,* et d'enveloppes ou téguments. Ex. : grain de blé, ici l'albumen est farineux.

I

INFLORESCENCE. Ce mot désigne l'arrangement des fleurs sur la plante. Ex. : *épi,* inflorescence dans laquelle les fleurs sont disposées autour d'un axe commun à l'extrémité d'un pédicelle très court ou nul (ex.: épi du plantain). *Grappe,* inflorescence dans laquelle les fleurs sont disposées autour d'un axe commun à l'extrémité d'un pédicelle plus ou moins développé (Groseiller).

L

LANCÉOLÉ. Se dit d'une surface à bords arqués, deux fois au moins plus longue que large, se rétrécissant insensiblement en pointe vers les extrémités, à diamètre transversal coupant le diamètre longitudinal plus ou moins près de son milieu.

LIBER. L'une des portions d'un faisceau libéro-ligneux. Le liber primaire provient de la différenciation des cellules du tissu homogène fondamental, le liber secondaire du fonctionnement de la zone génératrice. Ses éléments constitutifs sont les cellules ou tubes *criblés,* le *parenchyme* libérien, les *fibres* libériennes, etc.

M

MICROPYLE. Canal placé au sommet de la graine, fig. 25 B, *l,* par où pénètre le *pollen* ou son *tube.*

MACROSPORANGE. Sac contenant les macrospores. Ex. : fig. 32 B, *ma.*

MACROSPORE. Organe de reproduction femelle chez les cryptogames, produisant, soit extérieurement, soit intérieurement, une expansion cellulaire désignée sous le nom de *prothalle;* dans le prothalle se développe soit

seulement un archégone *Lepidodendron*, fig. 32 *p*, Isoëtes *z*, soit un plus grand nombre.

MICROSPORANGE. Sac contenant les microspores, fig. 14 A, B, fig. 32 B, *mi*.

MICROSPORE. Organe de reproduction mâle, produisant soit intérieurement, soit extérieurement, une expansion cellulaire désignée sous le nom de prothalle ; dans le prothalle se développent des *Anthéridies*, un certain nombre des Anthéridies produisent des *Anthérozoïdes*, fig. 32 *o*, *v*, *x*.

MONOIQUES. (Voir fleurs).

MONOCOTYLÉDONES. Plantes dont les graines au moment de la germination ne montrent qu'une seule feuille séminale. Ex. : *froment*, *seigle*.

MONOPÉTALES. (Plantes) chez lesquelles la corolle ne forme qu'une seule pièce. Ex. : *liseron*, *bruyère*.

N

NERVURES. Ramifications fibro-vasculaires constituant la charpente de la feuille, la nervure occupant le diamètre longitudinal du limbe se nomme nervure médiane ou côte, celles qui partent de la nervure médiane sont dites *secondaires*, etc.

NUCELLE. Partie de l'ovule dans laquelle se développe le sac embryonnaire, fig. 32 A, *e*, et quelquefois (Gymnospermes) une chambre pollinique *d*.

O

OVAIRE. Partie du pistil dans laquelle se développent les ovules en nombre variable; en mûrissant, les différentes enveloppes de l'ovaire concourent à former le fruit. Ex. : *cerise*, *pomme*, *gousse de haricot*, etc.

OVULE. Organe reproducteur femelle des plantes phanéro-

games. Dans les plantes phanérogames *angiospermes*, les ovules sont contenus dans une cavité généralement close (ovaire). L'ovule comprend le nucelle et deux enveloppes *secondine* et *primine*. Avant la fécondation, dans le nucelle se produit le sac embryonnaire qui finit par le remplir presque complètement, à la partie supérieure du sac se réunissent des masses protoplasmiques femelles désignées sous le nom de *oosphères, vésicules embryonnaires*. *Une* de ces vésicules ordinairement est fécondée par le protoplasma mâle du tube pollinique qui s'est allongé suffisamment pour parcourir toute la longueur du style et pénétrer par le canal micropylaire de l'ovule jusque dans l'intérieur du sac embryonnaire.

Dans les plantes dicotylédones *gymnospermes* les ovules n'étant pas contenus dans une cavité particulière (ovaire), le pollen pénètre directement, souvent jusque dans l'intérieur du nucelle et s'accumule dans la chambre pollinique. Fig. 25 B, *p, d*. Le sac embryonnaire qui remplit presque complètement le nucelle, ne renferme plus comme précédemment les vésicules germinatives, mais est ici le siège de la formation d'un prothalle au sommet duquel apparaissent des *archégones*, fig. 32 A, *l*, analogues à celles de certaines plantes cryptogames. Les archégones contiennent les vésicules embryonnaires ou oosphères.

Les caractères distinctifs des plantes gymnospermes (conifères-cycadées) sont donc: 1° La pénétration du pollen jusque dans l'intérieur du nucelle, 2° la formation d'archégones dans le sac embryonnaire où s'est développé un prothalle femelle.

P

PENNÉE. Feuille composée dont les folioles sont disposées le long du pétiole commun comme les barbes d'une plume, fig. 44 A.

PÉTIOLE. Prolongement grêle par lequel la feuille s'attache au rameau. Ex. : tilleul.

PINNULE. Nom donné aux divisions ultimes des feuilles, de fougères, entre autres, fig. 44 B.

PHANÉROGAMES (Plantes) qui se reproduisent par des graines.

POLLEN. Grains contenus dans les anthères des phanérogames, pénétrant jusque dans le nucelle (Gymnospermes), mais s'arrêtant sur le stigmate (Angiospermes), émettant alors un tube qui s'allonge et pénètre successivement dans les différentes régions du *pistil*, c'est-à-dire le *stile* et *l'ovaire*, arrivent après un chemin assez long jusqu'aux ovules qui y sont contenus et les fécondent. Le pollen des graines de l'époque houillère présente de nombreuses cellules internes, fig. 45 C, D, E.

PROSENCHYME. Tissu formé de cellules allongées, pointues aux deux bouts, souvent sclérifiées. Le *parenchyme* est produit par des cellules sensiblement de même diamètre et à parois minces.

POLYPÉTALE ou DYALIPÉTALE. Corolle formée de plusieurs pièces distinctes désignées sous le nom de pétales. Ex. : rose, œillet, etc.

R

RACHIS. Ce nom s'applique : 1° au pétiole commun qui sert d'attache aux pétiolules de plusieurs feuilles (vernis du japon), 2° à l'axe primaire des épis ou des grappes, 3° au pétiole continué par la nervure médiane de la feuille dans certaine fougère (Scolopendre).

RÉTICULÉ. Veiné en réseau.

RHIZOME. Tige vivace rampant au-dessous de la superficie du sol, dont la partie antérieure émet des racines, des bourgeons, des feuilles, tandis que la partie postérieure

se détruit peu à peu avec l'âge. Ex.: Pteris aquilina, Sceau de Salomon, etc.

S

SESSILE. Se dit de la feuille sans pétiole, de la fleur sans pédicelle, de l'anthère sans filet... et attachés directement sur leur support.

SCLÉRENCHYME. Tissu formé par des cellules de forme très variable, dont les parois se sont épaissies et lignifiées. Ex.: le noyau d'un grand nombre de fruits.

SPORANGE. Enveloppe renfermant des organes reproducteurs appelés *spores*, fig. 44 E, F.

SPORANGIOPHORE. Bractée modifiée supportant les sporanges, fig. 14 A, B.

SPORES. Organes reproducteurs émettant souvent chez les cryptogames un prothalle mâle ou femelle, Prêle, Fougère.

STIGMATE. Mamelon de forme variée souvent glanduleux ou filamenteux, surmontant le stile et où s'arrêtent les grains de pollen dans les plantes Angiospermes.

STYLE. Prolongement de l'ovaire dans lequel se trouve un tissu (tissu conducteur) destiné à laisser passer et à nourrir le tube pollinique dans son trajet aux ovules.

T

TÉGUMENTS. Enveloppes de la graine, au nombre de deux, *primine*, *secondine*. La région par laquelle la jeune graine est en rapport avec les faisceaux vasculaires nourriciers, s'appelle *chalaze*, la région opposée *micropyle;* quand l'embryon s'est développé en jeune plantule, la radicelle correspond ordinairement au micropyle et les cotylédons (feuilles séminales) à la chalaze.

TESTA. Tégument de la graine, souvent de consistance différente ; la partie dure est *l'endotesta*, la partie molle le *sarcotesta*, cette dernière est extérieure.

TRACHÉE. Cellule allongée, terminée en pointe aux deux extrémités ; l'épaississement de la paroi interne s'est fait sous une forme de filament roulé en spirale, c'est le premier élément qui dans la partie ligneuse du faisceau libéro-ligneux se différencie.

TRACHÉIDE. Cellule souvent fort allongée, terminée en pointe à ses deux extrémités, fig. 32 *t r*, fig. 36 *o*. Les ornements qui se trouvent à la face interne des parois sont sous la forme de raies, ou d'anneaux, ou de réticulations, ou de ponctuations, etc., le bois des Gymnospermes est uniquement formé de ce genre d'éléments vasculaires.

TUBE POLLINIQUE. Prolongement qui prend naissance lors de la germination du grain de pollen et qui conduit le protoplasma fécondateur mâle jusqu'aux vésicules germinatives ou les oosphères.

V

VAISSEAUX. Tubes très allongés, ouverts, à parois ponctuées, réticulées, rayées, etc., d'un diamètre ordinairement supérieur à celui des trachéides, résultant de la superposition verticale de cellules dont les cloisons de séparation transversale se sont détruites et ont formé un canal continu, 47, V. Les vaisseaux ne se rencontrent que dans le bois des Dicotylédones angiospermes et celui des Gnétacées, 47, V'.

VERTICILLE. Feuilles, rameaux, racines, fleurs, etc., disposés au même niveau sur un support commun, F, 14, A, B, C, D.

LES

Plantes Fossiles

CHAPITRE PREMIER

DIFFÉRENTS MODES DE CONSERVATION DES PLANTES FOSSILES.

On désigne sous le nom de plantes fossiles celles qui nous ont été conservées par des procédés extrêmement variés, mais employés par la nature sans le concours de l'homme. Parmi ces plantes se trouvent des espèces qui vivent encore, d'autres en très grand nombre ne sont pas arrivées jusqu'à nous et ne sont connues que par des débris plus ou moins complets enfouis dans les couches terrestres.

Il est intéressant de passer en revue les différentes manières suivant lesquelles les végétaux ont été conservés, car, appliqués aux mêmes espèces, ces procédés divers se complètent l'un l'autre et permettent d'acquérir des connaissances beaucoup plus étendues et plus parfaites sur des types complètement disparus.

Les plantes même les plus complexes, les plus élevées en organisation, ne renferment dans leurs tissus que des cellules et des vaisseaux de forme plus ou moins variée, dont les parois sont constituées par de la *cellulose* et de la *vasculose,* à divers états et contiennent différentes substances organiques telles que *chlorophylle, amidon, gomme,* etc. Tous ces composés formés sous l'influence de la vie sont assez instables et, une fois soustraits à cette influence, ils ne tarderont pas à se transformer en dérivés plus fixes et offrant plus de résistance aux agents physiques et chimiques extérieurs.

Chacun sait que les débris de plantes abandonnés à la surface du sol, feuilles, rameaux, tiges, écorces, etc., disparaissent peu à peu, les éléments se groupent d'une autre façon et forment de l'acide carbonique, de l'eau, de l'ammoniaque, de l'azote, de l'hydrogène protocarboné, par l'action de l'oxygène, de la chaleur, de l'humidité et par celle d'êtres microscopiques qui se nourrissent à leurs dépens, de sorte qu'au bout d'un temps relativement court il ne reste aucune trace de ces débris.

Si les plantes, au lieu d'être soumises aux causes de destruction successives ou simultanées que nous venons d'énumérer et qui s'exercent à la surface du sol, sont recouvertes par une couche d'eau profonde ou enfouies sous des masses de vase, d'argile ou de sable, ou bien encore plongées dans des liquides tenant en dissolution des matières

antiseptiques ou minéralisantes, leur durée peut être considérablement augmentée; tantôt alors on retrouve leur empreinte dans les argiles ou les grès, accompagnée d'une quantité variable de la substance organique qui les constituait; les détails extérieurs sont conservés avec fidélité, et la matière organique plus ou moins altérée présente quelquefois des détails de structure reconnaissables. Tantôt le liquide minéralisateur pénétrant complètement dans l'intérieur des tissus, en se solidifiant, a préservé non seulement la surface, mais a maintenu tous les tissus dans un état de parfaite conservation.

Nous avons donc, par conséquent, à examiner un certain nombre de circonstances qui ont pu se présenter pour favoriser la fossilisation des végétaux.

I. Matière fossilisante solide.

1° *Fossilisation en demi-relief.*

Ce mode de conservation d'une partie de la surface des végétaux est assez fréquente et de nos jours il n'est personne qui n'ait eu l'occasion de remarquer comment il pouvait se produire. Lorsqu'à l'automne, les feuilles ou d'autres organes caducs se détachent et tombent sur du sable fin, de l'argile, ou simplement sur de la terre, et qu'il survient une pluie ordinaire, chaque goutte, en frappant la face supérieure d'une feuille, applique

sa face inférieure contre le sol détrempé et en détermine le moulage d'autant plus exact que la matière du moule est plus fine; la feuille enlevée, on éprouve quelque surprise à retrouver aussi fidèlement reproduits tous les détails superficiels. Ces empreintes délicates disparaissent rapidement, mais il est clair que, si l'on en prenait le moulage, ce dernier représenterait seulement en relief la face inférieure de la feuille, on aurait un moulage en demi-relief.

Les exemples sont nombreux dans lesquels le moulage s'est fait naturellement par l'apport de poussières, de sables fins effectué par le vent; ces matières, ultérieurement durcies et formant des couches plus ou moins épaisses, présentent, si on les sépare de l'empreinte, tous les détails de l'une des faces de l'objet moulé.

Les caractères constants de ce genre de fossilation sont de présenter toujours le relief au côté inférieur de la plaque que l'on sépare et de n'offrir jamais de traces de matières organiques, puisque ce n'est qu'après le départ de l'objet que le moulage a pu se produire.

Nous avons supposé que les restes de végétaux étaient placés à la surface du sol et dans l'air, mais il est clair que si ces restes sont suffisamment lourds pour laisser leur empreinte sur l'argile et le sable fin d'une eau tranquille, leur déplacement fortuit et le dépôt de sédiments sur les empreintes

qu'ils auront laissées pourront produire également une fossilisation en demi-relief au sein des eaux.

2° *Fossilisation par empreinte ou par moulage.*

Les rivières et les fleuves entraînent journellement, soit dans les lacs, soit dans le sein des mers, des matériaux solides arrachés à leurs rives, ils emportent aussi tous les débris organiques détachés également ou apportés par les vents ; la substance fossilisante formée suivant les régions de sédiment argileux, calcaire ou siliceux se trouve ainsi mélangée de fragments fort divers, qui se déposent en même temps qu'elle et parallèlement aux couches déjà formées, ils sont moulés sur tout leur contour avec d'autant plus d'exactitude que les éléments minéraux en suspension sont eux-mêmes plus divisés.

Tantôt le moule ainsi formé, et qui ne reproduit que la surface extérieure de l'objet, renferme encore une certaine quantité de matière organique houillifiée ou transformée en matières ulmiques, tantôt la matière organique entièrement détruite a été remplacée par des matières minérales variées, ou bien le vide laissé par sa disparition n'a pas été rempli.

Lorsque la roche fossilisante est peu perméable

comme les calcaires argileux miocènes du Vicentin, les terrains jurassiques du Véronais, etc... les végétaux enfouis protégés contre les causes de destruction complète se retrouvent à l'état de houille contenant une certaine quantité d'acide ulmique.

Quelquefois les fragments de plantes sont assez bien conservés pour que l'on puisse détacher des portions de fronde de *Cycadopteris* (Vicentin), de *Pecopteris*, d'*Alethopteris* (Mont-Pelé près Autun) ressemblant à des fragments de plantes desséchés et conservés en herbier.

Cependant tout n'est pas conservé, car si le microscope montre la cuticule intacte, les cellules épidermiques dans un état bien reconnaissable, il montre aussi que le parenchyme de la feuille s'est complètement transformé en houille sans trace apparente d'organisation.

Au Mont-Pelé on trouve fréquemment des pinnules de *Pecopteris* portant en dessous des capsules de couleur rosée disposées en *Asterotheca*, des feuilles orbiculaires de *Dolerophyllum* montrant leur volumineux pollen dont les grains visibles à l'œil nu sont placés par ordre sous forme de ligne jaune orangé au milieu de la houille produite par les tubes et le tissu charnu qui les renfermaient.

La conservation des *macrospores* et des *microspores* dans leurs enveloppes n'est pas rare, nous possédons des fructifications d'*Astérophyllites* moulées par

du carbonate de fer, qui montrent certains sacs remplis de grains libres d'adhérence, de couleur, jaune terne, visibles à l'œil nu ; ces grains sont sans aucun doute possible des macrospores ; d'autres sacs renferment une poussière, dont les éléments examinés au microscope sont facilement reconnaissables pour des microspores. Ces épis d'Astérophyllites appartiennent au terrain houiller moyen, par conséquent, certaines roches peu perméables ont pu conserver pendant un laps de temps immense la matière organique végétale dans un état surprenant de conservation.

Mais, dans la plupart des cas, la cuticule elle-même est transformée en houille et le moule affaissé sur lui-même est seulement tapissé par une mince pellicule de cette substance, ayant pourtant conservé quelquefois une organisation que l'on peut rendre apparente par certains procédés que nous indiquerons plus loin.

Si la roche sédimentaire argileuse ou calcaire était poreuse, la matière organique a pu disparaître complètement, par une combustion lente due à l'air dissous dans l'eau, et la plante n'est plus représentée que par un moulage en creux.

Souvent le vide laissé par celle-ci a été rempli par des matières minérales liquides ou solides provenant de quelque infiltration.

Les empreintes de la Tarentaise nous offrent souvent des *Annularia,* des *Pecopteris*, des *Astero-*

phyllites, etc., dont la matière organique primitive a été remplacée par du silicate de magnésie; elles se détachent en blanc satiné sur le fond noir de la roche.

Dans d'autres localités à Lally, Igornay, près Autun, à Saint-Etienne, etc., etc., c'est du bisulfure de fer qui s'est substitué à la matière organique laissée par les rameaux de Walchia, des tiges de Calamites ou des graines.

Dans le Zechstein, la substitution s'est opérée quelquefois au moyen du carbonate de cuivre.

Dans les grès bigarrés le surmoulage s'est souvent effectué par l'intermédiaire du peroxyde de fer hydraté.

Dans les exemples cités, les matières minérales qui ont remplacé la matière organique y sont arrivées à l'état de dissolution et l'état définitif que l'on constate est le résultat d'une série de réactions chimiques variées.

Mais le cas le plus fréquent et que l'on rencontre dans tous les étages, c'est celui où le vide laissé par la matière organique a été directement rempli par des matières solides plus ou moins ténues amenées par voie d'infiltration.

Ces matières solides formées d'argile ou de sables calcaires ou siliceux se sont durcies et ont conservé plus ou moins fidèlement, suivant leur degré de finesse, les détails du moule primitif. On peut citer comme exemples les nombreuses tiges

debout du terrain houiller de Saint-Etienne, au Treuil, celles non moins nombreuses (Arthropitus, Sigillaires, Calamodendron, etc.), de Commentry, de Bessèges, les Equisétacées du Grès bigarré, les rhizomes et les tiges de plantes aquatiques des Argiles miocènes d'Armissan, etc.

II. MATIÈRE FOSSILISANTE EN DISSOLUTION.

1° *Fossilisation par incrustation.*

Lorsque la substance fossilisante était maintenue à l'état de dissolution, cette substance (carbonate de chaux ou de fer, phosphate de chaux, silice, etc.), a pu se trouver en quantité assez considérable pour déterminer autour de la plante un dépôt abondant, une *incrustation*. Lés exemples ne sont pas rares dans lesquels les végétaux poussant sur le bord de ruisseaux alimentés par des sources incrustantes, se sont accumulés en quantité considérable dans les lacs, les étangs formés par ces ruisseaux et ont pu être enveloppés par la matière solide que l'eau déposait, avant qu'ils n'aient eu le temps de se flétrir. La couche minérale, en augmentant peu à peu d'épaisseur, a fini par combler l'intervalle qui les séparait et bientôt le tout n'a plus formé qu'une masse compacte dans laquelle ils sont restés emprisonnés.

Quelquefois, le dépôt formé autour de ces frag-

ments est resté perméable aux liquides et aux gazs; alors les matières organiques, brûlées peu à peu par l'oxygène de l'air ou celui dissous dans l'eau, ont disparu complètement en laissant un vide représentant exactement leur forme primitive.

Si le tuf est calcaire, comme cela se présente à Canstadt, Méximieux, Brognon, Sézanne, etc., il a dû se former de la même manière que les pétrifications naturelles que l'on rencontre maintenant dans le voisinage des sources de Saint-Allyre, de Carlsbad, de Tœplitz, et on peut faire renaître dans leur forme extérieure les objets moulés par le dépôt devenu solide, en coulant de la cire ou du plâtre dans les cavités, et en dissolvant ensuite le calcaire dans l'acide chlorhydrique étendu.

On obtient ainsi la restauration des objets les plus délicats, feuilles de fougères avec leurs fructifications, fleurs ayant conservé leurs calice, corolle, étamines, pistils, rameaux, feuilles de mousse, etc. [1].

Les détails superficiels sont rendus avec une perfection bien plus grande que lorsque le moulage en creux était obtenu, comme nous l'avons vu précédemment, par un dépôt mécanique de sable fin ou d'argile.

Mais dans le cas où la matière incrustante est

1. Nous donnons plus loin, page 46, les détails des manipulations à employer pour obtenir de bons résultats.

de la silice, comme cela se présente lorsque les objets sont soumis à l'action de l'eau des geysers trop près de leur orifice, le peu de consistance de la silice déposée rapidement et son insolubilité dans la plupart des dissolvants rendent généralement impossible le moulage de ce genre de pétrification.

2° *Fossilisation par imbibition et moulage interne des tissus.*

On peut rapporter à ce genre de fossilisation la conservation des plantes dans le succin. La résine actuellement solide a pénétré, lorsqu'elle était maintenue fluide par une huile essentielle, dans l'intérieur des tissus et les a conservés intacts à l'abri de l'humidité et de l'oxygène.

Göppert a fait connaître près de deux cents espèces végétales préservées de la destruction par cette résine provenant de vastes forêts de Conifères de l'époque miocène. Parmi ces débris se trouvent des corolles, des pistils, des étamines, des grains de pollen et même des moisissures avec leurs sporules.

Dans d'autres cas la matière dissoute était une matière minérale, le liquide pétrifiant *peu concentré* a pénétré dans l'intérieur des vaisseaux et des cellules débarrassés de la plupart des substances amylacées devenues solubles par une macération prolongée dans des eaux alcalines.

Peu à peu la matière minérale a rempli toutes les cavités existantes, puis, se déshydratant lentement, elle a acquis une solidité en rapport avec sa nature chimique, emprisonnant ainsi tout ce qui restait des parois des vaisseaux et des cellules.

La silice, le carbonate de chaux, le carbonate de fer, le phosphate de chaux rendus solubles par des sels alcalins et un excès d'acide carbonique ont pénétré dans l'intérieur des tissus et, en se concentrant peu à peu et se solidifiant, les a protégés contre une destruction rapide.

Les détails anatomiques les plus fins, les sculptures des cellules et des vaisseaux les plus délicates, ont été conservés souvent avec la plus scrupuleuse exactitude ; les vaisseaux rayés, ponctués, aréolés, les trachées déroulables, se distinguent avec la plus grande netteté, de sorte que l'anatomie d'une plante silicifiée ou carbonatée peut conduire à des résultats aussi précis que si l'étude en était faite sur les organes correspondants pris dans une plante vivante.

A certains égards, ces objets sont même plus avantageux pour l'observation, que les plantes desséchées et conservées en herbier, car, malgré toutes les précautions, les organes délicats de ces dernières ne retrouvent pas, quand on essaie de les ramollir, le volume et la forme que la dessiccation et la compression leur ont fait perdre.

Les plantes carbonatées ou silicifiées se rencon-

trent généralement en fragments disséminés sans rapport de liaison les uns avec les autres; on éprouve ainsi d'assez grandes difficultés pour établir la dépendance de ces parties isolées, et ce n'est que par une attention soutenue et la comparaison avec les mêmes parties conservées à l'état d'empreinte, mais alors en dépendance les unes avec les autres, que l'on peut avancer avec quelque sécurité dans l'étude des végétaux pétrifiés.

Quelquefois cependant les fragments sont plus volumineux et on a des exemples de troncs de plus de vingt mètres de longueur qui ont été silicifiés dans toute leur étendue. Près de Grand-Croix, dans une vigne, nous avons vu à découvert une tige de Cordaïte qui mesurait plus de dix mètres, les fragments de ce tronc qui a été brisé sont encore en partie engagés dans les murs environnants.

Aux environs d'Autun, au champ des Espargeolles on a relevé un stipe de Fougère (psaronius) d'une longueur de 4 m. 70, présentant la partie centrale bien conservée dans certains endroits et environné sur toute sa longueur de racines nombreuses, ces stipes ont porté les frondes si communes à l'état d'empreinte dans les couches houillères et désignées sous le nom de *Pecopteris*.

Les exemples de troncs de Palmiers silicifiés sur une longueur de plusieurs mètres et encore entiers trouvés dans les terrains tertiaires ne sont pas très rares.

Une question intéressante se présente à l'esprit, comment la silicification de ces troncs considérables s'est-elle effectuée ; en outre, comment les tissus, souvent fort délicats, ont-ils pu résister pendant un temps suffisamment long pour ne pas être décomposés ou flétris avant que la pétrification ne fût achevée.

Il n'y a pas de doute que souvent les végétaux étaient encore en place lorsque leur silicification s'est effectuée ; les forêts pétrifiées du Wadi-Anseri, du Wadi-el-Tih au sud du Caire en sont une preuve irréfutable, la souche des arbres debout est encore fixée par les racines dans les grès sous-jacents, le sol actuellement compact et durci était simplement sablonneux à l'époque où les plantes étaient en pleine végétation.

Dans le département de l'Allier, à Bussières, à Ygrande, à Noyant, etc., apparaît par intervalle un banc de quartz fossilifère, sur une étendue de 25 à 30 kilomètres. A Saint-Hilaire, près de l'étang des Messarges se voient des troncs de *Psaronius giganteus* encore en place et tenant au sol. On y rencontre en même temps des fragments de bois de *Cordaïte,* d'*Arthropitus,* c'est vraisemblablement le sol d'une ancienne forêt carbonifère dont les arbres ont été silicifiés.

Dans certains cas la silicification a donc dû se faire sur des végétaux enracinés ; ces végétaux étaient ou émergés en partie ou complètement plongés

dans l'eau. Lorsqu'ils étaient en partie émergés, l'eau chargée d'une petite quantité de silice est montée par capillarité dans les parties vasculaires et perméables du tronc, déposant sur sa route la matière minérale retenue en partie par les parois organiques ; une évaporation continuelle à la surface supérieure déterminait l'arrivée incessante du principe pétrifiant qui a fini par remplir la totalité des cellules et des vaisseaux, emprisonnant ainsi la totalité des parois.

Des fragments de troncs de Sigillaires, dont la moelle avait déjà disparu au moment de la pétrification, présentent la particularité curieuse de gouttelettes de silice tapissant l'intérieur de l'étui médullaire, qui du reste est complètement vide; cette portion du tronc était donc hors de l'eau chargée de silice, lors de la minéralisation.

Si la plante était complètement plongée dans l'eau, lors même que cette dernière n'eût pas été saturée, la silice ou le carbonate de chaux auraient pu se fixer dans le tissu en vertu d'une action chimique que l'on a désignée depuis longtemps sous le nom d'affinité capillaire et qui comprend tous les cas que présente à l'observation un solide qui s'unit à un gaz, à un liquide, ou enfin à un corps solide dissous, à la condition que le solide conserve sa forme apparente.

Les tissus organiques des végétaux submergés étaient dans ce dernier cas et c'était par une véri-

table sélection que la silice ou les carbonates dissous se déposaient sur la paroi interne des cellules et des vaisseaux dont ils augmentaient l'épaisseur. On peut constater que souvent les cellules et les vaisseaux présentent un reste de cavité, les pores par où pouvait pénétrer la matière minérale s'étant oblitérés avant le remplissage complet.

Très souvent les graines des magmas quartzeux de Saint-Etienne, qui sont entièrement noyées dans la silice, offrent dans la cavité occupée par le sac embryonnaire une géode de cristaux, la cavité n'a pu finir de se remplir, la silice retenue par les enveloppes du testa ayant rendu ces dernières imperméables.

Il n'est même pas nécessaire que les fragments de végétaux soient plongés dans le liquide minéralisateur pour que cette sélection se produise, il suffit que ce dernier puisse les atteindre même en faible proportion. Ainsi, dans des fouilles faites à l'établissement civil de Bourbonne-les-Bains, on a rencontré des bois en partie calcifiés qui servaient de pilotis à un canal romain ; aucune incrustation calcaire n'a été rencontrée à proximité des bois calcifiés, et c'est bien la matière ligneuse qui a retenu et concentré dans ses cellules le carbonate de chaux amené par une infiltration lente mais continue d'eau calcaire.

Quelquefois les plantes ont été recouvertes par des argiles perméables, les parties qui ont persisté

sont celles qui ont pu retenir la silice dissoute imbibant l'argile; l'*Heterangium paradoxum,* le *Lomatophloios crassicaule* de Corda offrent ce genre de conservation; en dehors des parties silicifiées et qui sont devenues très dures tout en conservant leur structure, l'argile qui forme la gangue de l'échantillon est restée beaucoup plus tendre, n'ayant pas retenu de silice.

Ces exemples suffisent pour montrer que les plantes plongées dans des eaux minérales non concentrées, ou dans des sables ou des argiles à travers lesquels peuvent filtrer des eaux calcaires ou siliceuses sont capables de se pétrifier en s'appropriant par affinité capillaire une portion de la substance dissoute.

D'autres fois les plantes arrachées de leur lieu de naissance ont été entraînées et se sont accumulées pêle-mêle, dans des étangs ou des lacs, dont les eaux étaient, en certains points ou en totalité, chargées de principes minéralisateurs.

Ces eaux ont non seulement pétrifié les débris végétaux de toute nature, en vertu de la sélection dont nous venons de parler, mais ont fini en quelques cas, en s'évaporant et en se concentrant peu à peu, à la manière des eaux salées qui ont déposé dans diverses localités des couches de sels divers en quantité considérable, par souder entre eux cette masse de fragments de plantes et par former d'immenses bancs de silice remplis de débris les plus variés.

Tantôt ces bancs de silice forment une couche continue de plusieurs décimètres d'épaisseur et s'étendent sur une surface de plusieurs kilomètres comme à Saint-Symphorien de Lay, Régny, etc. (Loire), Saint-Hilaire, Noyant (Allier), tantôt ils ne forment que des îlots de quelques mètres, Dracy-Saint-Loup, Margenne, près Autun (S.-et-Loire).

Il semble dans ce dernier cas que la silice, étant en trop petite quantité pour couvrir tout le bassin d'évaporation se soit distribuée par masses isolées sur le fond, en empâtant les débris organiques qui s'y trouvaient rassemblés. A Dracy-Saint-Loup on trouve sur un fond argileux des lentilles de silice mélangées par place de calcaire, ayant englobé des *Stigmaria* dont une portion est restée engagée dans l'argile du fond et s'est transformée en houille, et l'autre s'est conservée par la pétrification.

Le plus souvent ces larges bancs de silice, ces lentilles de quelques mètres carrés ont été brisés à la suite d'affaissements locaux, ou de phénomènes géologiques plus importants, et les débris remaniés se retrouvent sous forme de rognons intercalés dans des grès et des argiles.

Les angles de ces fragments sont encore vifs et n'ont pas été usés, ce qui indique qu'ils n'ont pas été roulés et ne sont pas éloignés de leur lieu d'origine. Souvent même on rencontre des fragments qui appartenaient à la surface du banc siliceux, car ils portent en relief, et pour ainsi

dire sculptés, des feuilles de fougères, des pétioles, des rameaux variés, des bouts de racines pétrifiées qui émergent en partie de la gangue siliceuse, comme si la quantité de silice avait été insuffisante pour recouvrir le tout. Ces reliefs fragiles auraient été certainement brisés si le morceau dont ils dépendent avait été roulé au loin. La température de l'eau qui dissolvait la silice ou le calcaire ne devait pas être très élevée et n'atteignait pas celle des Geysers, car la délicatesse des tissus conservés n'aurait pas supporté une semblable macération. On rencontre en effet de jeunes bourgeons floraux renfermant les rudiments de graines futures, des archégones dans l'endosperme de graines plus développées, des anthères contenant des grains de pollen dont l'intine renferme de jeunes cellules, des spores en voie de formation dans leur cellule-mère. Ces organes se seraient rapidement flétris ou détruits dans des eaux chaudes et geysériennes ; la présence de l'acide carbonique, qui a dû jouer un grand rôle dans la dissolution des matières minéralisantes, n'est pas du reste compatible avec une température élevée, et sa disparition trop rapide aurait amené un dépôt superficiel et la plupart du temps sans consistance.

Si la pétrification s'est faite lentement, et si les tissus ont pu résister pendant un temps très long à la décomposition et à la pourriture, cela tient

vraisemblablement à la nature antiseptique des eaux renfermant en dissolution de la silice, des silicates alcalins, des carbonates, etc., milieu qui devait être d'autre part assez peu favorable au développement des êtres multiples se nourrissant de matières végétales. Nous pensons que, dans la plupart des cas, les eaux pétrifiantes nous ont transmis les divers débris dans l'état de conservation où ils étaient lorsqu'elles les ont reçus.

Göppert a fait de nombreuses expériences afin d'arriver à pétrifier le tissu ligneux, il a essayé tour à tour des dissolutions de silicate de potasse, de sulfate, de protoxyde de fer, d'acétates alcalins ou métalliques et de bien d'autres sels. Les résultats, dit-il, sont d'autant plus parfaits que l'organe renferme plus de vaisseaux et de parties poreuses, une macération de quelques jours est suffisante; la pétrification est accélérée en faisant succéder aux macérations des dessiccations successives. Dans le cours de ses recherches il a remarqué que le squelette *inorganique* propre de la plante est une des causes principales qui ménagent la conservation de la forme organique et constitue, en quelque sorte, la base autour de laquelle se disposent les matières employées dans les essais précités.

Les dissolutions doivent être étendues; autrement, on aurait une incrustation analogue à celle des eaux pétrifiantes, c'est-à-dire une croûte pure-

ment superficielle comme celle que déposent sur les objets qu'on y plonge les eaux de Tivoli, de Toeplitz, Saint-Allyre, etc.

Malgré ses essais nombreux, Göppert n'a pu réussir à *silicifier* complètement les tissus ligneux; cela tient à l'état pulvérulent et presque sans consistance que la silice prend quand elle passe trop rapidement de l'état de dissolution à l'état solide. Il y a des composés chimiques siliceux qui laissent, il est vrai, la silice à l'état compact et cohérent; mais, même lorsque celle-ci offre une certaine dureté, elle est encore complètement soluble dans une dissolution de potasse[1], tandis que celle qui emprisonne les débris de végétaux pétrifiés naturellement y est au contraire insoluble et agit sur la lumière polarisée comme la silice des granits ou des gneiss.

Il y a donc des conditions physiques et chimiques de dépôt non encore réalisées par les expériences.

L'observation des couches formées par certaines sources minérales qui renferment quelques débris de végétaux, et l'examen de ces débris enfouis à diverses époques, conduiraient sans doute à se faire une idée juste de la manière dont la nature

1. La silice contenue dans l'épiderme des prêles ou qui en a exsudé, celle des tiges de graminées est également soluble dans une dissolution de potasse.

a opéré pour silicifier les végétaux dans tous les terrains.

Un grand nombre de sources renferment de la silice en dissolution et quelquefois en assez forte proportion ; ainsi, sous le volume de un litre, les eaux des Geysers contiennent 500 milligrammes de silice, les eaux de Toeplitz 330 milligrammes, celles d'Aix-la-Chapelle 66 milligrammes, les eaux de la Manche seulement 16 milligrammes.

Voici l'analyse de deux eaux thermales.

Pour un litre, les eaux de

Carlsbad (73°) . . . Vichy (grille)

renferment :

Co^2	788 mmg	Co^2	908 mmg
Nao, co^2 . .	1262	$Nao, 2co^2$ . .	4883
Cao, co^2 . .	309	$Ko, 2co^2$ . .	352
Cao, so^3 . .	2587	$Cao, 2co^2$ . .	434
Na cl . . .	1038	Mgo . . .	303
Ca Fl . . .	3,2	$Nao\ so^3$ . .	251
Sio^2	75	$3\ (Nao)pho^5$.	136
Mgo	179	Na cl . . .	534
		Sio^2	70

Les expériences de Göppert montrent que ce n'est pas à la source même, où le dépôt des matières minérales est abondant, rapide et la température élevée, que l'on devrait diriger les observations et les expériences, mais bien plutôt à une certaine distance, là où la température est devenue normale

et par conséquent le dépôt siliceux ou calcaire lent et régulier. Des échantillons recueillis en Islande sont, les uns formés de cilice soluble dans les alcalis, friable, ayant conservé seulement les *empreintes* des rameaux et des feuilles; les autres, au contraire, de silice insoluble; on y rencontre des tiges de prêles, des rameaux de bouleau à structure conservée, mais le manque d'indication sur la position exacte qu'ils occupaient dans le dépôt siliceux et sur l'âge probable qu'ils peuvent avoir, ne permet pas de résoudre la question.

Quoi qu'il en soit, d'après ce qui précède, ce mode de pétrification des végétaux consiste, non pas, comme on le dit souvent, dans la substitution à la matière organique des éléments minéralisateurs faite *molécule à molécule,* mais dans une combinaison de la substance minérale avec la substance organique et dans le remplissage par la matière solide d'abord dissoute (carbonate de fer, de chaux, silice, phosphate de chaux, etc.), de tous les vides laissés par les parois des cellules, fibres, vaisseaux, qui constituent la charpente des plantes.

Si donc on dissolvait cette matière minérale solidifiée, on devrait retrouver cette matière organique. C'est ce que Göppert a tenté pour certains bois silicifiés et carbonatés, en se servant d'acide fluorhydrique ou d'acide chlorhydrique étendus; il obtint en effet le squelette organique modifié, il est vrai, dans sa constitution chimique, mais qui

avait été préservé de la destruction par la matière environnante.

Mais, dans bien des cas, les fragments de bois ont été exposés depuis leur pétrification à l'action de l'oxygène libre de l'air ou de l'oxygène ozoné dissous dans l'eau, et la plus grande partie de la matière organique a disparu ; au lieu de se présenter avec une coloration brune ou noire, comme cela arrive quand la matière organique a été houillifiée ou transformée en fusain et en lignite et se retrouve en proportion notable dans l'échantillon, ils ont blanchi et cela d'autant plus complètement qu'ils ont été exposés plus longtemps à l'action comburante de l'oxygène. En cassant quelques fragments de bois pétrifiés, on reconnaît souvent que la combustion ne s'est propagée qu'à une certaine distance à partir de la surface, et une démarcation nette entre la partie qui est devenue blanche et celle qui a conservé sa couleur foncée indique la profondeur à laquelle la matière organique a disparu.

La plupart des échantillons d'Autun, de Saint-Charles, de Saint-Hilaire, de l'Etang des Messarges, etc., les troncs que l'on rencontre dans les grès du Lias, dans l'Oolithe, la Craie, ont perdu leur matière organique; aussi, lorsqu'on humecte légèrement la surface, l'eau pénètre rapidement dans l'intérieur par l'effet de la capillarité ; mais, à l'inverse de ce qui se passe dans un bois vivant, ce

sont les parois mêmes des anciennes cellules et des vaisseaux qui, ayant disparu, donnent passage au liquide.

Ainsi, comme nous le répétons, les éléments organiques n'ont pas été remplacés, molécule à molécule, par celles de la matière pétrifiante, puisque le vide dont nous parlons est le vide même laissé par ces éléments et n'est occupé que par de l'air. La masse de la plupart des bois pétrifiés est essentiellement poreuse et les détails microscopiques n'y sont visibles qu'à cause de l'air qui remplit l'espace occupé par les anciennes parois. On doit tenir compte, pour les préparations faites dans les bois silicifiés, de cette particularité, et nous indiquerons plus loin les précautions à prendre pour éviter certains inconvénients qui en résultent.

Il est arrivé quelquefois après la disparition de la matière organique, qu'une imbibition ultérieure s'est faite naturellement, par l'introduction soit d'une autre substance, soit de la matière même qui a produit la minéralisation primitive. Dans ce dernier cas, qui constitue l'état des échantillons complètement carbonatés ou agatisés, toute perméabilité a disparu ; les parois des éléments organiques ne sont plus guère visibles que grâce à la petite quantité de matière minérale qui constituait le squelette inorganique de ces éléments et qui n'a pas été entraînée.

Les échantillons de Saint-Etienne, encore engagés

le plus souvent dans un poudingue d'une très grande dureté, ont été préservés de l'action comburante de l'oxygène; aussi se présentent-ils avec une coloration foncée, et comme les fragments de végétaux sont noyés dans la masse siliceuse, on ne peut y rencontrer des tiges ou fragments de tiges, isolés ou dégagés, présentant une surface nette avec des cicatrices caractéristiques, comme cela se présente dans les gisements d'Autun et ceux du département de l'Allier. Il est clair que, si le S. *Menardi*, le S. *Spinulosa,* avaient été trouvés engagés dans les magmas silicifiés de Saint-Etienne, leur détermination spécifique eût été impossible.

Cette différence entre les deux gisements provient sans aucun doute du mode de pétrification. A Autun, un grand nombre de végétaux ont dû être silicifiés quand ils étaient encore debout, ou enfoncés dans l'argile et les sables; depuis lors ils ont été entraînés, mais à une petite distance, et déposés en même temps que l'agilolithe et les grès dans lesquels on les rencontre maintenant dispersés.

A Saint-Etienne, au contraire, les végétaux, entassés dans des étangs ou dans des lacs, ont été pétrifiés, puis soudés par la silice dans un état de confusion si grand qu'on a pu comparer leur aspect à celui que présenterait une couche épaisse de terreau accumulé sur le sol d'une forêt et qui aurait été pétrifié en bloc.

Il était utile de s'étendre avec quelques détails

sur ce dernier mode de pétrification, parce qu'il fournira, grâce à la perfection avec laquelle il a conservé les parties les plus délicates des plantes, la solution d'un grand nombre de problèmes importants de botanique fossile. En effet :

Entre les mains de Sprengel, Cotta, Witham, Brongniart, Corda, Göppert, Binney, Williamson, les échantillons conservés par la minéralisation des tissus ont déjà fourni de merveilleux résultats et mis la Paléontologie végétale à même d'aborder des questions d'anatomie comparée avec une précision qu'on n'aurait pas osé espérer.

III. Conservation des végétaux a l'état de lignite.

Les lignites sont, comme l'on sait, des substances noires et brunes, s'allumant et brûlant avec facilité sans se boursoufler ; leur combustion est accompagnée de flamme, de fumée et d'odeur bitumineuse, avec perte de 50 à 70 pour 100 de matières volatiles ; l'hydrogène se trouve en moins grande proportion que dans la houille, tandis que l'oxygène y prédomine et atteint 18 à 30 °/o leur distillation est accompagnée d'une certaine quantité d'acide acétique et la potasse en sépare de l'acide ulmique.

Dans un grand nombre de cas, les lignites ont conservé une structure organique qui ne permet pas de douter de leur origine végétale.

Ainsi les troncs d'arbres, les rameaux, feuilles ou débris divers trouvés dans les lignites de Durfort, de Saltzhausen, du duché de Nassau, de Francfort, des gypses d'Aix, etc., sont assez intacts pour que leur étude microscopique soit possible. Des plaques minces taillées dans ces lignites montrent les éléments organiques avec leurs caractères distinctifs primitifs. La loupe permet d'apercevoir avec facilité les nervures les plus fines des feuilles, leur épiderme conservé, et il n'est pas rare de trouver des fleurs mâles de Conifères, des chatons d'Amentacées contenant encore du pollen avec sa coloration jaune primitive.

Le bois est quelquefois en assez bon état pour être travaillé et poli.

Le temps nécessaire pour la transformation des matières végétales en lignite ne paraît pas être très considérable, on rencontre souvent dans les anciens travaux de mines abandonnées des débris de charpente transformés en ce produit.

Il ne faudrait pourtant pas croire que les tissus organiques soient restés intacts pendant cette transformation; les cellules et les vaisseaux vus au microscope apparaissent déformés par la compression et la dessiccation, de plus une partie de leur substance s'est transformée en produits ulmiques imprégnant plus ou moins, suivant le degré d'altération, le reste du tissu et les matières terreuses dans lesquelles ces débris sont enfouis.

Le lignite imprégné de produits ulmiques a l'aspect résineux, luisant, du pechkohle des Allemands; cette transformation des lignites s'effectue par voie humide et Göppert cite plusieurs exemples dans lesquels elle n'a pas exigé plus de 50 à 60 ans. Il n'est pas rare de trouver dans les mines de Zittau et dans la Lusache supérieure des couches de lignites encore flexibles alternant avec des couches de lignite compact et luisant.

Quelquefois le lignite devient terreux, friable, et perd toute trace d'organisation. Cette altération commence dans les bois de Conifères transformés en cette substance, à la surface interne des cellules et des trachéïdes par une sorte de desquammation des parois, les petits fragments détachés en remplissent l'intérieur, peu à peu l'altération gagnant en profondeur, les ponctuations si marquées dans les conifères disparaissent, et lorsque la métamorphose a gagné toute l'épaisseur, la cohérence de l'ensemble finit par se détruire complètement.

Ce n'est donc que rarement qu'on trouve dans le lignite terreux des cellules ou des trachéïdes conservées de façon à permettre de reconnaître leur origine.

D'après Liébig, c'est surtout de l'hydrogène qui se dégage dans la transformation des plantes en lignite.

Quoiqu'on ne connaisse pas encore les conditions particulières qui déterminent la transforma-

tion des tissus ligneux en acide ulmique et en ulmine, le rapprochement des formules de ces divers composés montre cependant qu'ils dérivent les uns des autres par une condensation de plus en plus grande de la molécule avec perte d'une certaine quantité d'eau. En partant des composés les plus répandus dans le corps des plantes, on obtient le tableau suivant :

Gomme.......	$(C^{12} H^{10} O^{10})^2$	+	2 aq.
Amidon.......	$(C^{12} H^{10} O^{10})^3$		
Cellulose......	$(C^{12} H^{10} O^{10})^4$		
Vasculose	$(C^{12} H^{10} O^{10})^5$		
Acide ulmique.	$(C^{12} H^{10} O^{10})^8$	—	46 HO
Ulmine.......	$(C^{12} H^{10} O^{10})^8$	—	52 HO

Dans quelques cas le lignite devient dur, tenace, sa cassure reste brillante, les traces d'organisation sont difficiles à bien mettre en évidence ; dans cet état il constitue l'espèce minérale connue sous le nom de jayet, qui se rapproche plus des houilles que des lignites.

Dans un fragment de jayet offrant quelques traces de l'organisation ligneuse des Cordaïtes et provenant de Polroy près Autun, il n'a pas été possible de trouver trace d'acide ulmique, ni d'ulmine ; la condensation polymérique de la cellulose accompagnée de deshydratation était donc bien plus complète que dans les lignites et se rapprochait de la houille.

La formation des lignites en masses importantes

n'est pas un fait très rare à notre époque, on a cité souvent comme exemple l'accumulation des troncs de végétaux à l'embouchure du Mississipi. On sait qu'au printemps ce fleuve et ses affluents débordent et arrachent à leurs rives des plantes de toute nature et de toutes dimensions, qui sont entraînées sous forme d'immenses radeaux jusque dans le golfe du Mexique ; là, lorsque leur imbibition par l'eau de mer est assez complète, elles s'enfoncent pour la plupart et viennent se déposer parallèlement au fond. Chaque année cet apport considérable se renouvelle et forme une autre couche sur la précédente, dont elle n'est séparée que par une mince couche de vase ou de sable déposée dans l'intervalle des deux transports.

Préservés du contact de l'oxygène par une couche d'eau épaisse, les végétaux peuvent être conservés à l'abri de toute combustion et formeront au bout d'un certain nombre de siècles un immense amas de combustible fossile passé à l'état de lignite.

Un autre mode de formation de lignite nous est offert quelquefois à l'embouchure des fleuves à delta ; entre les branches multiples par lesquelles le fleuve s'écoule à la mer, dans les sables à peine plus élevés que le niveau des eaux, il existe souvent de nombreuses lagunes, d'innombrables marécages ; le Mississipi nous présente une configuration de cette espèce à son embouchure ; sous

l'influence d'une chaleur humide des plus favorables à la végétation, il se développe sur ces terres basses de nombreuses plantes herbacées. La végétation ne dépasserait guère cette limite si les choses restaient en l'état, mais certaines parties se dessèchent ou deviennent moins humides, des plantes arborescentes, entre autres le cyprès chauve, se développent et prennent la place des plantes frutescentes ou herbacées, puis viennent ensuite des espèces végétales moins aquatiques, telles que les chênes verts, etc.

Les débris des troncs de cyprès, de chênes..... tombés de vétustés ou déracinés par les tempêtes disparaîtraient comme ceux des forêts du continent par l'effet d'une combustion lente effectuée sur le sol, si toute la région ne subissait un affaissement lent qui non seulement modifie la configuration superficielle du delta, en provoquant de temps à autre le déplacement des bouches du fleuve, mais en outre recouvre d'eau salée les troncs tombés et protégés dès lors contre la pourriture et la destruction.

L'apport de nouveaux sables et de nouveaux détritus rehausse en certains points le niveau du delta ; une nouvelle végétation s'établit semblable à la première, et, l'affaissement lent continuant, une nouvelle couche de combustible se trouve recouverte par les eaux.

'Des sondages exécutés en plusieurs points ont

montré que, sur une épaisseur d'environ 200 mètres, on pouvait compter 10 couches alternantes, formées régulièrement de sables et de combustible; ces derniers disposés dans l'ordre que nous avons indiqué, c'est-à-dire constitués à la base par des débris de plantes herbacées ou frutescentes, au milieu par de nombreux troncs de cyprès, enfin au sommet par des tiges de chênes verts.

Il est clair que si, dans l'avenir, un soulèvement lent succède à l'affaissement actuel, on trouvera là, ainsi que sur les bords occupés maintenant par le golfe du Mexique, un amas immense de lignite.

Comme nous venons de le voir, des couches importantes de lignite se préparent à notre époque pour les siècles futurs, mais, malgré cette importance, elles sont incomparablement moins étendues et moins nombreuses que celles qui se sont produites pendant les formations tertiaires. Les dépôts de Leoben, de Fohnsdorf en Autriche, de Muskau, de Zittau en Allemagne, dont quelques-uns mesurent près de 50 m. de puissance, de Manosque, du Suessonnais en France, etc.... et de beaucoup d'autres que l'on pourrait citer, montrent que c'est à cette période que se rapporte le maximum de production de cette variété de combustible fossile.

La période crétacée n'est cependant pas dépourvue de lignite, on connaît dans l'Amérique du nord, au Canada, au pied des montagnes Rocheuses

de nombreuses couches, occupant de vastes surfaces, en France, les gisements des Ascros (Var) et de Fuveau, etc.

Dans le Lias et le Trias, les lignites sont beaucoup plus rares et disparaissent presque complètement, soit parce que les conditions n'étaient pas favorables à leur formation, soit parce que les gigements, en petit nombre, en ont été détruits. Ils sont remplacés par des couches de combustible présentant l'aspect de la houille véritable.

On n'a pas signalé de lignite dans le terrain houiller, cependant nous ne pensons pas qu'il y ait eu impossibilité complète à sa formation, quelques fragments de bois d'une certaine dureté montrant une organisation interne, à cassure brillante rappelant le jayet, et que l'on rencontre dans la houille, pourraient bien n'être que des fragments de lignite injectés de la matière qui constitue la masse amorphe de la houille.

Nous avons rencontré quelquefois dans des magmas silicifiés d'Autun des portions de tiges, d'écorces, etc., dont les éléments, trachéïdes, cellules, écrasés, repliés sur eux-mêmes, présentaient exactement le même aspect, la même coloration que les éléments des bois plus récents transformés en lignite; nous pensons que ces fragments sont des portions de plantes amenées à cet état et conservées sans altération par la silice.

Cette observation se rapprocherait de cette

autre que nous avons faite fréquemment, soit dans les quartz organisés d'Autun, soit dans ceux de Saint-Etienne, de la présence de fragments irréguliers de bois à cassure noire, fibreuse, d'une bonne conservation en apparence, semblables à ceux dont la présence est si fréquente dans les grès, les schistes, la houille et que l'on désigne sous le nom de *fusain;* des préparations nombreuses montrent que les parois des vaisseaux et des cellules, quoique réduites à une minceur extrême, sont pourtant aussi opaques que celles des cellules et des vaisseaux du bois ordinaire calciné et transformé en charbon; dans ce dernier état les parois des cellules sont beaucoup moins transparentes que lorsqu'elles sont houillifiées. Nous sommes portés à croire que les bois opaques silicifiés en question ne sont que des fragments de fusain silicifié, et que ce dernier provient d'incendie de forêts houillères, qui n'étaient pas plus assurées contre cet accident que les forêts de nos jours, les branches ou les troncs à demi consumés pouvaient facilement être entraînés par les eaux dans lesquelles une chute prématurée, en mettant fin à leur combustion, les préservait d'une destruction complète.

IV. CONSERVATION DES VÉGÉTAUX A L'ÉTAT DE TOURBE[1].

La tourbe est un combustible assez répandu dans les pays froids, ou tempérés, couvrant souvent des espaces de terrain considérables, et dont l'étendue et l'épaisseur dépendent de la configuration du sol, principalement de sa déclivité; les tourbières des pays de montagne sont les plus petites, celles des plaines au contraire peuvent s'étendre sur une très grande surface. Ainsi dans les Vosges, sur les plateaux du Jura, elles mesurent de 2 à 10 kilomètres en longueur sur 1 à 5 kilomètres en largeur, au maximum; dans les plaines de Davelsmoor près de Hambourg, elles atteignent 80 kilomètres de longueur sur une largeur de plus de 20. L'épaisseur varie également dans des limites assez larges, sur les hautes montagnes, elle atteint à peine quelques centimètres; dans les plaines, au contraire, elle dépasse 18 mètres.

Dans les Vosges le maximum paraît être de deux à trois mètres, dans le Jura 7 à 8 mètres, en Irlande il dépasse 12 mètres.

Les tourbières exigent pour se former un climat

1. Voy. Contejean, *Eléments de Géologie et de Paléontologie,* Paris, J.-B. Baillière et fils, 1 vol. in-8.

froid et humide, dont la température moyenne peut être comprise entre les limites extrêmes de 3 et 11°, celle de 7° à 8° paraît être la plus favorable.

Il en résulte qu'elles doivent être contemporaines et que leur origine ne peut remonter pour nos contrées au delà de la fin de l'époque quaternaire.

La moyenne de température du climat des formations tertiaires est en effet trop élevée pour que leur développement fût alors possible. Cette conséquence est du reste vérifiée par ce fait que, sauf de très rares exceptions, elles ne renferment que des restes d'animaux et de végétaux existant encore de nos jours. Elles peuvent donc servir à caractériser l'époque contemporaine, et puisque leur existence était impossible aux époques antérieures, elles n'ont pas donné naissance à la houille et à l'anthracite des terrains plus anciens.

Les tourbières exigeant pour se former une moyenne de température assez basse sont par cela même reléguées dans les latitudes élevées, elles ne commencent guère en plaine de part et d'autre de l'équateur qu'à partir du 45°; les régions situées sous le parallèle de 56° sont celles qui sont le plus favorisées; elles ne s'arrêtent qu'aux glaces polaires; il est vrai que là elles ont très peu d'épaisseur. Les pays qui en renferment le plus sont la Hollande, la Suède, le Danemark, le nord de la Russie, l'Irlande, le nord de la France.

Dans l'hémisphère austral, les îles Malouines, dont le climat et la latitude correspondent à celle de l'Irlande, sont couvertes de tourbières.

La plupart des plantes de la tourbe appartiennent aux familles inférieures, ce sont des Mousses, des Cypéracées, des Saules nains, etc... elles ne peuvent croître que le pied dans l'eau ou dans un sol très humide; le sous-sol, par conséquent doit être imperméable et formé, soit de roches massives, telles que granit, gneiss, etc., ou de couches argileuses.

D'après M. Lesquereux, voici comment s'établit et se développe une tourbière dans le Jura, par exemple :

Le sol humide est d'abord envahi par des mousses du genre Sphaigne: après une série de générations, peu à peu ces plantes diminuent et sur les débris, les détritus qu'elles ont laissés, se développent d'autres espèces de mousses telles que les hypnes, les hydnes, auxquelles viennent se mêler des joncs, des carex; puis on voit apparaître des grassettes, des violettes d'eau, des saxifrages, des trèfles d'eau, etc...; toutes ces plantes sont herbacées. La végétation ligneuse apparaît plus tard et est représentée par l'andromède, la canneberge, et les saules nains. Il est clair que l'accumulation des parties mortes laissées par une succession ininterrompue de générations de plantes élève peu à peu la surface de la tourbière, de

façon que dans beaucoup de points du Jura on reconnaît son existence par un relief marqué du sol. L'humidité est maintenue dans son intérieur par la capillarité; lorsque son épaisseur est devenue suffisante, des saules de taille moyenne se montrent accompagnés de bouleaux et de pins.

A la Terre-de-Feu, dans l'hémisphère austral, ce sont deux plantes, l'une le *Donatia magellanica,* une Saxifragée, l'autre l'*Astelia pumila,* une Joncée, qui débutent sur le sol humide à l'origine de la tourbière et jouent le rôle des sphaignes et des mousses.

Dans les tourbières qui se forment sur certains rivages marins, bas et marécageux, ou dans des golfes très peu profonds, ce sont des algues et des zostères qui forment la tourbe, mais quant la surface finit par atteindre le niveau des eaux, les sphaignes s'y établissent à leur tour.

La tourbe résultant, comme nous venons de le voir, de l'accumulation lente et continue de débris de végétaux se développant et mourant sur place, doit présenter dans le sens vertical des variations de structure dues à la différence très grande du temps qui s'est écoulé entre la formation des couches inférieures et celle des couches supérieures.

En effet, au-dessous de la couche superficielle où se trouvent les plantes vivantes qui continuent l'existence de la tourbière, on en distingue deux autres : la première, la moins ancienne, présente

un tissu lâche, spongieux, feutré, formé de l'entrelacement des racines, rameaux, ramules, feuilles, etc., des plantes qui ont vécu autrefois et dont les tissus sont encore parfaitement reconnaissables, surtout dans les assises supérieures ; la teinte est grise et se distingue par sa nuance de la 2e couche, plus profonde. Celle-ci est plus noire, plus compacte, se sépare par feuillets, les tissus des plantes ramollis et écrasés par la charge des assises supérieures deviennent de moins en moins distincts ; cependant on peut y reconnaître les troncs d'arbres que leurs dimensions ou la résistance des tissus ont protégés plus longtemps, tels que ceux des pins, des bouleaux qui ont habité successivement la tourbière.

Aux Guinots près de Montbéliard, on a rencontré dans la tourbe d'énormes chênes, ce qui indique un changement remarquable dans les essences forestières de la contrée, où maintenant le chêne ne croît plus.

La couche de tourbe noire, compacte, est la plus épaisse et la plus importante des deux ; elle s'accroit incessamment à sa partie supérieure par la tourbe grise et spongieuse qui passe peu à peu à l'état de tourbe compacte et feuilletée.

La couche supérieure se trouve donc comprise dans une zone d'une épaisseur à peu près constante et se transformant sans cesse, puisque à sa base elle passe peu à peu à l'état de tourbe noire

et feuilletée, tandis qu'au sommet elle se renouvelle sans cesse; cet accroissement, variable du reste avec le cercle de latitude sous lequel se trouve la tourbière, paraît compris entre 0 m. 60 cent. et 1 m. 30 par siècle.

Tantôt la tourbe est parfaitement pure, c'est lorsque le terrain où elle se trouve est disposé en pente légère et ne reçoit que des infiltrations d'eau peu importantes; tantôt ce combustible est mélangé à des matières terreuses apportées par les inondations, c'est lorsque le sol est placé dans les plaines ou les vallées au niveau des cours d'eau, telle est la tourbe de la vallée de la Somme.

Souvent l'eau qui baigne les plantes de la tourbière est légèrement colorée en brun par des produits ulmiques, et si elle n'est pas renouvelée trop rapidement, il est facile de constater qu'elle présente une réaction acide.

Comme on le voit d'après les lignes qui précèdent, si la tourbe peut jouer un grand rôle dans certaines contrées comme combustible, son importance est moindre au point de vue de la conservation des plantes, car d'une part ce n'est qu'un petit nombre d'espèces qui peut être conservé par ce procédé, et, d'autre part, les assises supérieures seules offrent des débris de plantes reconnaissables.

V. Conservation des végétaux a l'état de houille

La houille, comme nous le ferons voir plus loin, est le résultat des transformations subies dans des conditions spéciales, par les tissus constituant la charpente des végétaux et par les produits multiples contenus dans leurs cellules ou provenant de sécrétions abondantes.

Lorsque l'on parvient à réduire en lames minces et transparentes des fragments de houille pris au hasard dans le combustible ordinaire, on ne voit le plus souvent dans les préparations qu'une masse amorphe d'aspect résinoïde de couleur brun foncé, sans traces d'organisation.

Quelquefois cependant on distingue, au milieu du charbon qui laisse plus facilement tamiser la lumière, des débris de trachéides rayées ou ponctuées, quelques groupes peu importants de cellules variées, des grains de pollen, des macrospores, etc...

Si l'on opère, au contraire, sur des fragments choisis à la loupe, à la surface desquels on peut reconnaître, sous une incidence convenable de la lumière, des indices d'organisation, au lieu de quelques rares débris conservés, le microscope montre des portions de tissus importantes complètement organisées et déterminables.

On reconnaît assez facilement dans la houille ordinaire les parties conservées, ce sont celles qui sur les cassures présentent un aspect brillant se détachant sur les parties ternes dans lesquelles elles sont empâtées ; elles se présentent sous la forme de lames plus ou moins épaisses, et plus ou moins étendues, et sont formées par des portions de bois, d'écorces, de feuilles, etc...

D'autres fois la houille, offrant à l'extérieur ces indices favorables, se trouve sous forme de rognons, de lentilles, dans les parties argileuses du combustible, ou même peuvent constituer des bancs d'une notable épaisseur dont les feuillets, lorsqu'ils sont séparés, montrent à leur surface soit des cicatrices sous-corticales de Sigillaires, de Lepidodendrons, soit des feuilles de Cordaïtes, etc...

Mais c'est surtout dans les couches d'argile ou de grès, là où on rencontre le moulage de troncs les uns couchés horizontalement, les autres debout, qu'il devient facile d'observer l'organisation de la houille.

Dans une seule portion du bassin houiller de Commentry, M. Fayol a relevé et coté plus de deux cents troncs ; autour du moule interne médullaire, on remarque une enveloppe de houille, brillante, à cassure irrégulièrement prismatique se conduisant avec les réactifs comme la véritable houille et dont l'épaisseur varie de 2 à 60 millimètres.

Sur les cassures fraîches, la houille de certains de ces troncs, sous une incidence convenable de la lumière, présente même à l'œil nu des signes non équivoques d'organisation.

S'il s'agit par exemple de *Calamodendron,* on distingue deux sortes de bandes ; les unes noires et brillantes, les autres mates ou ternes, se succédant alternativement et d'une manière très régulière sur une section transversale, ou tangentielle.

Les premières ont été formées par les bandes prosenchymateuses qui revêtaient les faces des coins ligneux, les autres par les coins ligneux eux-mêmes. Dans les *Calamodendron,* il n'y a que de légères différences en épaisseur entre les bandes brillantes et les bandes mates rayonnant du centre à la circonférence; ces différences pourtant appréciables proviennent des diverses espèces de Calamodendron ; le C. *striatum* a donné des bandes brillantes et ternes d'épaisseur sensiblement égales, le C. *congenium,* au contraire, a fourni des bandes brillantes un peu plus épaisses que les bandes mates.

Dans les *Arthropitus* on remarque dans le bois houillifié une alternance analogue, mais les bandes ligneuses l'emportant de beaucoup en épaisseur sur les bandes de parenchyme cellulaire qui les sépare, il y a dans les lames de houille provenant de ces deux tissus une différence caractéristique.

Les bois de certaines espèces d'*Arthropitus,* A.

bistriata, A. *communis,* A. *subcommunis,* A. *gigas,* peuvent donc se distinguer facilement à simple vue du bois des *Calomodendron.*

Le bois des *Cordaïtes* houillifié ne présente pas cette alternance remarquable, la surface en cassure transversale n'offre plus qu'un grain régulier très fin, dont chaque dépression correspond à une trachéide; ces dépressions sont alignées régulièrement et séparées par des lignes de peu d'épaisseur représentant les rayons médullaires.

Les *Psaronius* se distinguent facilement à cause des larges bandes vasculaires centrales plus ou moins contournées et aplaties, et surtout par les nombreuses racines engaînantes qui se révèlent par des ellipses très déformées, serrées les unes contre les autres, à cassure brillante, résultant de la houillification de l'assise corticale et tranchant sur la partie centrale, qui est mate.

De nombreuses écorces houillifiées appartenant, soit à des *Sigillaires,* soit à des *Syringodendron,* présentent également à la superficie des traces d'organisation, et des cicatrices conservées permettent quelquefois de les déterminer avant de faire des préparations dans l'épaisseur même de la houille. Les unes offrent la structure des écorces de Sigillaires cannelées; les autres, au contraire, celle des Sigillaires à écorce lisse.

Des préparations faites dans des directions choisies laissent voir les trachéides du bois avec leurs

ornements caractéristiques, c'est-à-dire, avec leurs ponctuations, leurs raies et leurs réseaux.

Grâce à cette conservation, il est possible de rapprocher un certain nombre de troncs dont le bois est transformé en houille, de ceux que l'on rencontre à l'état silicifié, mais fragmentaire, dans les gisements d'Autun et de Saint-Etienne et, par suite, de compléter l'étude de ces derniers par celle de troncs actuellement connus en empreinte sur une longueur de huit à dix mètres.

Un fait important à signaler découle de la comparaison des organes élémentaires des tissus, selon qu'ils sont transformés en houille, ou bien suivant qu'ils ont été conservés par la silice ou le carbonate de fer; c'est celui de la diminution *très marquée,* sur toutes leurs dimensions, des éléments convertis en houille.

En effet, sur une coupe transversale d'*Arthropitus bistriata* qui présentait l'écorce, le bois et la moelle reconnaissables, les trachéides se montrent serrées les unes contre les autres; un mince filet plus clair qui les sépare permet de les distinguer avec un grossissement de deux cents diamètres. Sous la pression lente, mais continue, des terrains d'alentour, le tronc s'est fortement aplati, les parois des trachéides, celles qui portent les ornements rayés, sont venus se toucher et, la cavité interne disparaissant, leur section actuelle apparaît comme une ellipse aplatie à contour sinueux. Sur une

coupe longitudinale radiale, c'est-à-dire faite dans le sens où la trachéide présente actuellement la plus grande largeur, cette dimension atteint la moitié ou les deux tiers à peine de celle d'une trachéide semblable prise dans un échantillon silicifié; en outre, sur une même longueur, le nombre des ornements rayés est dans le rapport de 3 à 2. La première s'est donc raccourcie d'un tiers environ.

Dans un échantillon d'*Arthropitus gallica,* dont le bois est *partie* carbonatée, *partie* convertie en

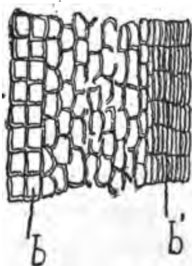


Fig. 1. — Arthropitus gallica.

houille, on compte, sur une longueur des trachéides de 1/10 de millimètres, quatorze raies dans la région transformée en houille et dix seulement dans celle qui est carbonatée ; le rapport des longueurs des trachéides est donc comme 10 à 14. Sur la coupe transversale représentée fig. 1, les trachéides houillifiées *b'* ont conservé à peu près la même largeur dans le sens radial que les

trachéides carbonatées *b*, mais, dans le sens tangentiel, elles sont devenues deux à trois fois plus petites. La région intermédiaire entre ces deux parties de l'échantillon contient des trachéides déchirées, cela tient aux tiraillements qui ont dû se produire entre la portion déjà solidifiée par le carbonate de chaux et celle qui subissait un retrait dû à la compression.

Le retrait de la matière organique, à mesure qu'elle se transformait plus complètement en houille, est donc évident; nous reviendrons plus loin sur ce phénomène, lorsque nous nous occuperons de la formation de la houille.

Si, dans la plupart des cas, lorsque l'on examine les troncs debout dans les grès et les argiles et entourés d'une couche de houille uniforme, on ne remarque pas de vide entre cette dernière et la roche environnante indiquant ce retrait, qui souvent a été considérable; c'est que ces derniers ont subi eux-mêmes une contraction due au départ partiel de l'eau que l'argile possédait au moment du dépôt, et au tassement naturel qui s'est produit autour du végétal, à mesure que la houillification s'effectuait.

CHAPITRE II

MARCHE A SUIVRE POUR RÉCOLTER, PRÉPARER ET CONSERVER LES PLANTES.

L'ordre que nous adoptons dans ce chapitre est celui dans lequel nous avons exposé les différents modes de conservation des plantes fossiles.

La recherche et la récolte des plantes fossiles sont certainement plus pénibles que celles des plantes vivantes ; elles offrent moins d'attraits, souvent elles sont beaucoup moins fructueuses, et il faut que celui qui s'y livre soit convaincu de toute l'utilité de ses efforts, pour ne pas éprouver parfois quelque découragement.

Mais son ardeur est soutenue, non seulement par l'espoir de rencontrer dans les couches terrestres les plantes qui, par des filiations plus ou moins directes, ont produit celles qui vivent de nos jours, mais encore par la certitude de recueillir souvent les vestiges de beaucoup d'autres qui, ne pouvant se plier aux changements apportés pendant le cours des siècles aux conditions de leur

existence, ont désespéré de la vie et, déclinant peu à peu, ont fini par s'éteindre, ne laissant parfois que des traces de leur passage.

Ces traces offrent un intérêt d'autant plus grand, qu'elles se rapportent à des types curieux, sans analogues actuels, ou qui établissent des liens entre des végétaux séparés dans nos classifications botaniques par un intervalle considérable. La disparition de ces types est une preuve des variations importantes que les climats ont subies pendant la longue période de temps qui sépare notre époque de celle où l'aurore de la vie s'est levée sur la terre.

Les végétaux ont servi de tout temps de nourriture à un grand nombre d'animaux ; il n'y a donc aucune témérité à supposer que les premiers représentants du règne végétal ont accompagné, sinon précédé, les premiers individus appartenant au règne animal.

Aussi, toutes les couches sédimentaires renferment-elles des débris plus ou moins reconnaissables de plantes, depuis les terrains de formation récente, jusqu'à ces couches de transition dont l'origine se perd dans la nuit des temps et dont l'aspect cristallin annonce dans leur formation le concours d'eaux minérales et de gaz possédant une température relativement élevée, peu propres, on le comprend, à conserver intacts les organes des plantes soumises pendant leur dépôt avec les sédiments, à

une macération d'eau surchauffée et de principes désorganisateurs.

Sur une étendue comparativement restreinte, la France renferme presque toutes les couches sédimentaires ou d'origine aqueuse qui se sont déposées depuis l'apparition des végétaux. Ce n'est donc pas le terrain qui manque aux recherches, mais bien plutôt les chercheurs animés du désir de faire des découvertes presque certaines, et de concourir à l'exhumation et à la résurrection de cette Flore immense, enfouie dans les entrailles du globe.

I. Végétaux conservés dans les grès et les roches schisteuses.

Les plantes fossiles conservées, soit en demi-relief, soit à l'état d'empreinte complète dans les grès, les marnes et les roches schisteuses, sont de beaucoup les plus nombreuses et celles que l'on voit figurer le plus communément dans les collections.

Le demi-relief, comme nous l'avons expliqué, n'a conservé en empreinte qu'une des faces du végétal et ne peut contenir de matière organique; la récolte consistera donc à fendre un peu au hasard les blocs de grès ou de schistes dans lesquels on soupçonnera ces sortes de moulages, dont la présence ne peut être décélée au dehors

par des traces charbonneuses, et à les échantillonner.

Les instruments que l'on peut employer dans

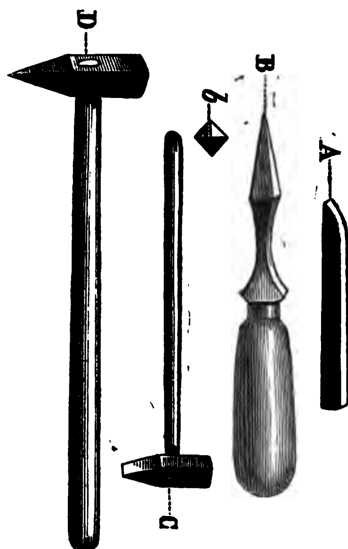


Fig. 2. — Outils servant à la récolte des plantes fossiles.

A, ciseau pour tracer plus ou moins profondément le sillon suivant lequel on désire que l'échantillon se fende. — B, pointe quadrangulaire d'acier, destinée à dégager les empreintes, à en approprier la surface et à graver sur leur revers des indications diverses. — *b*, extrémité de la pointe d'acier vue de face. — C, marteau dont l'une des extrémités est amincie en coin destiné à fendre les blocs schisteux. — D, marteau d'acier trempé à pointe quadrangulaire, dont on se sert, concurremment avec un ciseau, pour dégager les magmas siliceux noyés dans les poudingues.

ce but, et qui du reste peuvent servir pour toutes les opérations analogues, sont représentés dans la figure 2. A ces instruments, on ajoutera une scie à main pour découper les échantillons, quand la matière du moule sera tendre. Dans le cas, au contraire, où la gangue sera dure et tenace, on tracera un sillon assez profond en forme de cadre; au moyen du burin en acier B et à l'aide du marteau C, on détachera les portions de l'échantillon placées en dehors du cadre.

Dans ce genre de fossilisation, on se rappellera que le relief de l'empreinte correspond au moulage du creux laissé par l'objet, et qu'il ne peut se trouver qu'à la face inférieure de la dalle de schiste ou de grès qu'on a enlevée.

Si les végétaux se trouvent en empreintes à relief plein dans des marnes durcies, des roches calcaires, des schistes ou des grès, ils sont en général disposés suivant le plan de stratification des couches; les recherches seront naturellement plus fructueuses dans les carrières où on exploite les bancs fossilifères, dans les tranchées exécutées pour le passage des routes et des chemins de fer, dans les ravins creusés naturellement. On profitera des éboulis, des escarpements, enfin de tous les accidents de terrain qui peuvent rendre les travaux personnels moins pénibles et moins coûteux. Si les recherches que l'on entreprend ont quelque importance, il est indispensable de recourir

à l'aide d'ouvriers terrassiers, qui, dans un temps infiniment plus court, livreront les blocs, les dalles, etc., où on doit rechercher les fossiles.

Les blocs, examinés avec soin, devront être fendus suivant le plan général de stratification, là où quelque extrémité de feuille de rameau ou de tige décèle la présence de plantes fossiles.

Il faut se rappeler que, dans les calcaires et les grès, les tissus altérés peu à peu ont généralement disparu et n'ont guère laissé que le moule de leur surface extérieure, et que cette surface a été rendue plus ou moins fidèlement suivant la finesse de la gangue, qui, en se déposant en même temps que la plante, l'a emprisonnée et plus ou moins comprimée. Quand on aura rencontré quelque empreinte en fendant un bloc, il est indispensable de recueillir les deux parties, qui ne représentent nullement, comme on le croit souvent, l'une le moulage en creux et l'autre le moulage en relief de la même surface; les deux plaques portent chacune, en effet, un moulage en *creux* distinct, appartenant à l'une et à l'autre face de l'objet. Par conséquent, en outre des caractères généraux communs, il existe de part et d'autre des détails particuliers propres à chacun des deux moulages.

Après avoir échantillonné la plaque si le temps dont on dispose le permet, puisque nous supposons que toute trace de matière organique a disparu, on nettoyera avec précaution les surfaces,

de façon à enlever les poussières ou les débris terreux, sans porter atteinte aux détails de l'empreinte.

Dans les localités carbonifères, c'est autour des puits d'extraction de la houille, dans les débris formés par les schistes et les grès qui accompagnent ce combustible au toit et au mur des couches, et qui sont accumulés à l'orifice des puits, que l'on doit porter son attention, la houille elle-même ne renfermant que rarement des parties de plantes immédiatement reconnaissables.

Si les blocs de grès ou de schistes ne présentent aucune empreinte à leur surface, en examinant avec attention leur tranche, des lignes noires brillantes indiquent souvent la présence de portions plus ou moins importantes de végétaux. On cherchera à diviser ces blocs suivant ces bandes brillantes révélatrices, et, après quelques essais, on acquerra facilement le tour de main nécessaire pour fendre l'échantillon suivant le plan qui renferme le fossile; ce plan est, du reste, celui de moindre résistance, à cause de la couche charbonneuse qui s'y trouve.

On se gardera de débarrasser les surfaces devenues libres et qui portent l'empreinte des restes de houille, car ce sont les seuls éléments que l'on possède pour déterminer la structure interne de la plante; il arrive quelquefois que la loupe y décèle des différences de tissus permettant de recon-

naître leur nature. Quelques parties de l'empreinte nettoyées avec précaution suffiront pour donner une idée exacte des détails de la surface.

Les échantillons, débarrassés sur place des parties trop lourdes ou trop encombrantes, seront enveloppés avec soin dans plusieurs doubles de papier. S'ils doivent être emballés, on prendra la précaution de les placer verticalement sur leur tranche, serrés les uns contre les autres de façon à éviter tout frottement pendant le transport.

Le paléobotaniste ne doit pas oublier de prendre sur les lieux mêmes tous les renseignements qu'il pourra se procurer, tels que le numéro de la couche d'où viennent les échantillons, sa profondeur, le nombre des veines exploitées ou reconnues, leur importance, les dislocations qu'elles ont pu subir, etc.

Lui-même devra noter la fréquence ou la rareté des fragments se rapportant aux mêmes espèces ou aux mêmes genres; sur ceux qu'il a mis de côté, il inscrira, au moyen d'un burin, le nom de la localité ou du puits avec cette indication : rare, commun, etc. Lorsque les échantillons sont pyriteux, afin de prévenir une oxydation ultérieure de la pyrite, qui amènerait la perte certaine des empreintes, on passera à leur surface une éponge imbibée d'une dissolution de cire ou de paraffine dans la benzine, ou mieux d'une dissolution de baume de Canada solide dans l'alcool; la liqueur ne doit pas être concentrée, et on doit répéter

l'opération à plusieurs reprises après dessiccation complète.

Si la pellicule de charbon qui forme l'empreinte est trop mince pour qu'on en puisse tirer parti au point de vue de la structure, et si la solidité du schiste le permet, on pourra, afin de rendre les détails imprimés sur la roche plus apparents, frotter légèrement la surface avec une brosse sur laquelle on aura déposé une très minime quantité de cire blanche; l'empreinte se détachera alors en noir brillant sur le reste de la roche restée mate.

Il peut arriver que les empreintes soient à la surface de schistes peu résistants, fissiles, qui se subdivisent d'eux-mêmes, quant ils sont exposés à l'air, en feuillets multiples ; pour éviter cet inconvénient, il suffira de les faire sécher lentement, à l'abri des courants d'air et de la chaleur, la séparation étant due à une dessiccation trop rapide et inégale, qui amène un léger retrait dans les parties desséchées et leur séparation de celles qui ne le sont pas encore.

Un phénomène semblable de dessiccation inégale suivie de retrait se remarque dans les marnes fossilifiées d'un grand nombre de localités, mais les fentes qui se produisent, au lieu d'être sensiblement parallèles et d'amener la séparation de l'échantillon en feuillets, sont dirigées dans divers sens et déterminent en s'entrecroisant le départ de fragments irréguliers; le procédé indiqué plus haut

peut être employé pour éviter ce morcellement préjudiciable.

Généralement les empreintes qui se trouvent dans les marnes argileuses ou les argiles des formations récentes ont conservé une assez forte proportion de leur matière organique, transformée en produits ulmiques; ces restes organiques, en se desséchant, se détachent assez facilement de l'empreinte ; il sera bon, si l'on veut les conserver, de passer, avant la dessiccation, un pinceau imbibé d'une *légère* dissolution de gomme arabique ou de gélatine blanche appliquée à chaud; cette dernière substance est préférable et peut être employée non seulement dans le cas présent, mais encore lorsque des parties de plantes transformées en charbon, assez épaisses, sont contenues dans les grès ou les schistes; l'application sur la houille d'une dissolution faible 2 ou 3 o/o de gélatine à chaud est indispensable pour empêcher celle-ci de se fendiller et de se détacher rapidement de l'empreinte. Si la houille est pyriteuse, l'oxydation du bisulfure de fer est ralentie, mais non complètement enrayée, après dessiccation complète de la dissolution de gélatine, il sera bon d'employer une légère teinture de baume du Canada dans l'alcool.

II. Végétaux dans les tufs calcaires.

Si les végétaux, au lieu de se trouver entre les feuillets des schistes ou les bancs de grès, ont été recouverts par des dépôts calcaires abandonnés par des eaux incrustantes, tel que cela se voit à Cannstadt, Meximieux, Brognon, Sézanne, etc., le travail de la récolte des échantillons devient souvent plus laborieux à cause de la compacité du tuf. Les blocs sont cassés avec une masse, puis débités en fragments moins volumineux à l'aide du marteau et du ciseau, en tenant compte des empreintes que les fractures mettent à découvert. La partie organique a presque toujours disparu, par conséquent, on n'a que le moulage extérieur des différentes parties de la plante ; ce sont, comme je l'ai dit plus haut, des moules de feuilles, de rameaux, de tiges, de fruits, de fleurs, etc., conservés jusque dans les moindres détails.

Les empreintes de feuilles sont souvent d'une grande netteté ; dans les tufs de Sézanne, on peut facilement distinguer à la loupe des sores placés au-dessous des pinnules d'*Asplenium,* d'*Alsophyla,* etc., quelquefois même les sporanges qui les composent.

De nombreuses cavités se voient à la surface

des cassures et correspondent soit à des ramules et à des racines, soit à des fleurs ou des fruits, et il suffit souvent d'en prendre l'empreinte avec de la gutta-percha, du soufre fondu, du plâtre, etc., pour avoir en relief la figure exacte de l'organe moulé en creux par le calcaire. En colorant ensuite en blanc jaunâtre toute la surface entourant le relief obtenu, l'objet ressort parfaitement visible sur un fond dont la teinte rappelle celle de la roche.

Lorsque les cavités sont presque complètement contenues dans le calcaire ou même qu'elles se trouvent placées au-dessous de la surface et dès lors complètement invisibles, il arrive souvent qu'elles sont mises en communication avec l'extérieur par de petits canaux qui correspondent à des pétioles, des axes, etc., disparus et ayant appartenu à la grappe, au fruit, à la fleur, dont le moule est placé plus profondément. Si donc on pouvait y faire parvenir une matière fondue susceptible de se solidifier ensuite, on obtiendrait ainsi le moulage d'organes dont on ne soupçonnait pas l'existence.

On arrive facilement à ce résultat en faisant pénétrer dans l'intérieur du plâtre, de la cire, ou un alliage fusible à l'aide de la pression; en dissolvant ensuite la roche calcaire dans l'acide chlorhydrique étendu, saturé de sulfate de chaux, si l'on a employé du plâtre pour faire le moulage, on obtient en relief les organes, même les plus déli-

cats, tels que fruits en grappe, fleurs avec leur corolle et leurs étamines.

Dans le cas où la présence des plantes fossiles n'est indiquée que par des orifices de petit diamètre, on emploiera de préférence de la cire blanche durcie par moitié de son poids de stéarine, ou de cire du Japon. Les fragments calcaires sont maintenus complètement plongés dans le mélange en fusion, pendant tout le temps qu'il se dégage des bulles d'air ou de vapeur d'eau; quand le dégagement a cessé, on laisse refroidir lentement; en chauffant quelques instants au bain-marie le vase en fonte où on a effectué l'opération, et en le retournant, le gâteau de cire se détache en bloc.

On divise ce bloc avec un couteau chauffé, en autant de portions qu'il y a de fragments calcaires empâtés, puis, après avoir mis à nu un point de la surface de chacun d'eux, on les plonge dans une terrine en grès renfermant de l'acide chlorhydrique étendu de cinq à six fois son volume d'eau.

Le calcaire se dissout complètement, et dans la cavité on trouve, en fendant avec précaution l'enveloppe de cire, le moulage parfait des organes les plus divers et les plus délicats.

Nous avons obtenu, en suivant ce procédé, des grappes de fruits de Rhynanthées, des feuilles complètes de *Marchantia sezannensis* avec leurs fructifications, de *Laurus,* de *Protoficus,* des touffes de mousses (tiges et feuilles), au milieu desquelles se

trouvaient de petites coquilles d'eau douce, et des corolles détachées de Symplocos accompagnées de leurs étamines, des portions de pennes d'*Asplenium* et d'*Alsophyla thelypteroides,* ornées de leur indusie et de leurs sporanges, etc... On peut facilement colorer en vert la cire qui sert de moulage et obtenir une illusion plus complète, en mettant une proportion suffisante d'oxyde de chrome en poudre impalpable délayée dans l'huile.

Comme les moulages ainsi obtenus sont délicats et fragiles, ils devront être fixés sur des feuilles de carton, et placés dans des tubes de verre de grandeur appropriée.

III. Végétaux conservés par le carbonate de chaux..., la silice.

Lorsque les plantes ou leurs débris ont été conservés par la silice, le carbonate de chaux ou de fer, rarement isolés de la gangue, ils présentent à l'extérieur les caractères qui leur sont propres; le plus souvent ils sont engagés, noyés plus ou moins dans des magmas carbonatés ou siliceux. C'est par les cassures qui apparaissent au dehors que l'on peut reconnaître le genre et l'espèce auxquels le végétal appartient.

Les fragments conservés par la silice étant beaucoup plus nombreux en France que ceux qui ont

été pétrifiés par le carbonate de fer et de chaux, nous nous en occuperons avec plus de détails.

Ces fragments se rencontrent en magmas épars, engagés dans des poudingues, comme à Grand-Croix, ou bien à la surface des champs cultivés, comme à Autun (Saône-et-Loire), Saint-Hilaire, Ygrande (Allier), etc.; rarement ils sont encore en place, comme à Nau, Marigny, Régny (Loire), Margenne, Dracy (Saône-et-Loire).

Dans les environs de Grand-Croix, les blocs de silice fossilifères font partie de plusieurs bancs de poudingues à ciment silico-argileux extrêmement dur; parfois on en rencontre quelques-uns qui ont été dégagés par des travaux de mine ou de construction; ils se reconnaissent à leur teinte noire, et à la surface qui laisse voir des débris variés de pétioles, de feuilles et de tiges engagés dans la masse, ressortant en blanc, si le morceau a séjourné quelque temps à la surface du sol. Ceux qui sont engagés dans le poudingue ne s'obtiennent qu'avec difficulté à l'aide du pic, du ciseau et du marteau; les organes des plantes y sont moins apparents, puisqu'ils ont été protégés contre l'action comburante de l'air, et ce n'est souvent qu'à l'aide de la loupe que l'on peut y distinguer des parties organisées.

Les mêmes difficultés d'extraction se présentent quand la couche qui renferme les végétaux se trouve encore en place, comme à Nau, Marigny, près de

Régny; l'aide d'un carrier est souvent nécessaire pour briser les blocs et les réduire à un volume plus maniable. Dans la plupart des cas, les bancs siliceux ont été brisés naturellement ou par les travaux de l'homme, et ce sont les fragments plus ou moins volumineux qui en proviennent que l'on rencontre dans leur voisinage.

D'autres fois, les fragments produits à une époque reculée ont été repris postérieurement et engagés dans des grès ou des argiles de formation plus récente; on peut par exemple, à la suite de ce remaniement, trouver dans certaines couches des plantes d'époques antérieures.

Lorsque les grès et les argilolithes qui renferment les débris silicifiés viennent en affleurement, l'action de l'air et de l'eau, celle de la culture et de la charrue désagrègent peu à peu ces couches, et le terrain résultant contient les fragments silicifiés devenus libres. Dans les environs d'Autun, de Noyant, de Saint-Hilaire (Allier), etc., les échantillons sont contenus dans la terre arable, et c'est à la suite des pluies, lorsqu'ils ont été lavés, qu'on les trouve facilement à la surface du sol; les moments les plus favorables à la récolte sont les mois d'octobre et novembre, les mois d'avril et de mai, à la suite des travaux de culture et des pluies qui sont assez abondantes à ces deux époques de l'année.

Comme les échantillons ne sont pas en place,

qu'ils ont été remaniés et exposés à l'action de l'air, leur surface et leur intérieur ont blanchi en perdant la matière organique qu'ils contenaient. Leur conservation est assez bonne pour que, dans bien des cas, on puisse reconnaître immédiatement le genre et l'espèce auxquelles on doit les rapporter.

Mais, si l'on veut rendre les caractères plus visibles et plus frappants, étudier les détails internes de structure, utiliser les portions d'organes engagés dans les blocs siliceux, un travail ultérieur est indispensable.

La préparation des échantillons comprend deux opérations que nous allons décrire :

1° Sciage et polissage des échantillons ;

2° Réduction en lames minces et transparentes de certaines parties choisies méthodiquement pour l'étude des détails internes.

IV. Sciage et polissage des échantillons.

Les sciage et polissage des objets silicifiés sont longs et pénibles ; on s'attachera donc à préparer seulement les échantillons que la loupe aura montrés d'une bonne conservation.

Le sciage peut s'effectuer au moyen de l'archet ou au moyen d'une scie circulaire. Dans le premier cas, l'échantillon est fixé, à l'aide de bonne cire à

bouteille, sur un mandrin tournant à frottement doux autour d'un axe horizontal ; le mandrin est supporté solidement par un pied vertical, l'archet est formé d'une tige d'acier munie d'une poignée et d'un fil de fer recuit, tendu par la flexion de la tige ; le diamètre du fil est de 1^{mm} environ ; une auge, renfermant de l'eau et de l'émeri n° 0, permet à l'opérateur d'apporter fréquemment sur l'échantillon l'émeri, qu'il puise au moyen d'une cuiller à long manche.

D'une main, il fait glisser le fil de l'archet sur l'échantillon, en suivant fidèlement le trait circulaire tracé préalablement à l'encre grasse et qui indique le plan de la section ; de l'autre, il tourne de temps en temps le mandrin qui porte l'échantillon, de manière à présenter successivement à l'archet les différents points de la circonférence indiquée par le trait ; la section se fait donc ainsi circulairement en profondeur ; il n'attendra pas, pour remplacer le fil de fer, que la diminution du diamètre par l'usure soit trop prononcée, car l'épaisseur du trait de scie n'étant que peu supérieure au diamètre du fil, la minceur du trait produit par le fil trop usé ne permettrait plus l'entrée du fil neuf.

Il doit veiller à ce qu'il y ait toujours des grains d'émeri entre le fil et le fond de la section. Pour assurer la marche rigoureuse du fil dans un plan vertical, on peut le guider au moyen de quatre

tringles en fer groupées deux à deux en contact, le plan de contact doit être celui de la section, et le fil doit glisser dans ce plan.

Pour effectuer le sciage au moyen d'une scie circulaire, on peut se servir de l'appareil suivant, représenté fig. 3.

Nous donnons à part, fig. 4, les parties essentielles du même appareil, mais vues par la face opposée à celle de la figure précédente et plus grossies. Les pieds du bâtis ont été supprimés.

Quelques lignes suffiront pour expliquer le maniement de l'appareil : Après avoir fait un trait circulaire à l'encre grasse, pour indiquer le plan de la section, on place l'échantillon *e* sur le gâteau de cire *g* adhérent au disque *a*, la cire a été ramollie au préalable, au moyen de la flamme d'un chalumeau, et l'extrémité de l'échantillon en contact avec la cire chauffée modérément. Le plan de la section doit être rigoureusement parallèle au disque de zinc[1].

1. Nous avons choisi le zinc de préférence à tout autre métal à la suite de nombreux essais. La tôle de fer ou d'acier présente trop de dureté, le grain d'émeri qui détermine l'*usure* de la silice glisse sur le métal, sans prendre un point d'appui suffisant. Le laiton, le cuivre sont trop malléables à la température ordinaire, et sous l'influence de la résistance que le disque éprouve en frottant contre l'échantillon, la circonférence s'étend et se gondole ; le zinc est, au contraire, peu malléable à la température ordinaire, les grains d'émeri, au lieu de

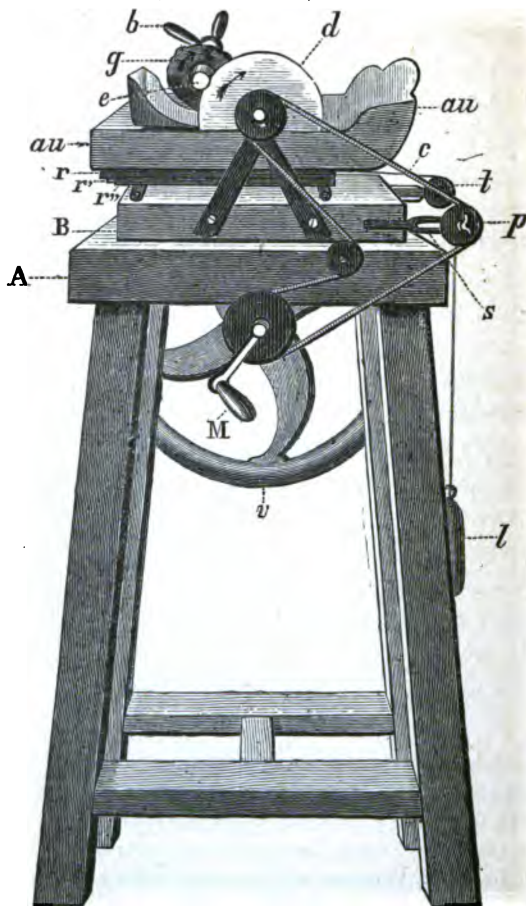


Fig. 3. — Machine pour le sciage des échantillons silicifiés.

glisser à la surface, y pénètrent légèrement et trouvent un point d'appui suffisant pour entamer la silice.

A, bâtis en bois supportant les organes de la machine. — *au,* auge fixée sur un plateau de fer mobile *r* et dans laquelle se trouve de la boue d'émeri nº o. — *r'*, bande de bois vissée au plateau *r* destinée à guider et maintenir ce plateau entre les rails *r'' r''*. — *r'' r''*, rails sur lesquelles glisse le plateau *r*, et par conséquent l'auge *au*. — *d*, disque en zinc mis en mouvement par la manivelle M au moyen de la corde *c*. — *p*, poulie mobile dans le sens horizontal servant de tendeur à la corde *c*. — *s*, glissière qui permet de déplacer la poulie *p*. — *b*, levier croisé communiquant un mouvement de rotation au gâteau de cire *g*. — *g*, gâteau de cire sur lequel on fixe l'échantillon. — *e*, échantillon qui doit être scié et qui est amené en contact permanent avec le disque *d*, grâce au chariot *au*, lequel est sollicité à glisser sur les rails par le poids *l*. — *t*, poulie sur laquelle passe une corde fixée d'une part au chariot, de l'autre au poids *l*. — *v*, volant porté par l'axe de la manivelle M. — M, manivelle mue à la main et donnant le mouvement au disque *d*.

L'échantillon étant placé un peu excentriquement par rapport au disque *g*, celui-ci, en tournant sur lui-même, à frottement doux, au moyen des leviers croisés *b*, amènera successivement tous les points de la section sur la circonférence du disque.

Pour placer le plan de la section dans le plan du disque de zinc, il suffit de faire glisser le *porte-échantillon* représenté au bas de la figure 5, dans la rainure de la lame de fer *h*, de façon à ce que ces deux plans soient dans le prolongement l'un de l'autre, et de le fixer solidement en tournant l'écrou *o*. Le porte-échantillon est ainsi rendu

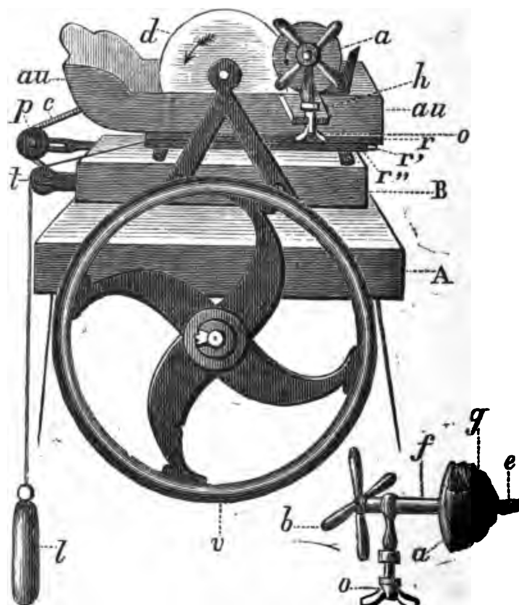


Fig. 5.

Fig. 4. — Détails de la machine servant à scier les échantillons silicifiés.

au, auge et chariot mobile sur les rails *r" r"*. — *r*, plateau de fer sur lequel l'auge est fixée. — *r'*, lame de bois solidaire du plateau *r* destinée à le maintenir et à lui permettre de glisser parallèlement à lui-même sur les rails *r" r"*. — *h*, lame de fer munie d'une rainure dans laquelle peut s'engager l'extrémité inférieure de l'ensemble des pièces représenté à droite et en bas de la figure; l'écrou *o* permet de les maintenir solidement sur cette lame de fer. — *d*, disque recevant le mou-

vement au moyen de la manivelle et de la corde *c*. — R, poulie mobile servant à tendre la corde *c*. — *t*, poulie sur laquelle passe la corde portant le poids *l*. — *l*, poids destiné à entraîner le chariot, et par suite à amener l'échantillon en contact avec la circonférence du disque *d*. — V, volant porté par l'axe horizontal de la manivelle.

Fig. 5 (partie inférieure de la figure, à droite). *a*, disque métallique recevant un mouvement de rotation sur lui-même et à frottement doux par l'intermédiaire du levier croisé *b*. — *b*, levier croisé, relié au disque *a* par un axe cylindrique qui passe par la gaîne *f* et lui communique le mouvement de rotation dont il vient d'être question. — *g*, masse de cire qui sert à fixer l'échantillon *c*. — *o*, écrou au moyen duquel on maintient solidement le porte-échantillon. — *e*, échantillon que l'on applique et que l'on fixe à chaud sur le gâteau de cire, de façon que sa position soit un peu excentrique.

solidaire du chariot *au*, qui peut se rapprocher ou s'éloigner du disque *d* en glissant sur les rails *r''r''*; par conséquent, l'échantillon ainsi disposé présentera le trait qui indique la section à la circonférence du disque. Celui-ci est mû à la main, au moyen de la manivelle M, et en tournant sur lui-même, il entraîne de la boue d'émeri contenue dans l'auge *au;* s'il éprouve une résistance trop grande, par le fait de quelque éclat s'engageant, en même temps que lui, dans la rainure creusée dans l'échantillon, la corde *c* glisse sur les poulies, le disque s'arrête et l'on peut facilement enlever le corps étranger, sans aucun préjudice pour la section.

Le diamètre de l'échantillon que l'on peut scier est sensiblement le double du rayon du disque, grâce au mouvement de rotation du support *a*. On doit veiller à ce que le disque entraîne toujours avec lui une quantité suffisante d'émeri, et pour cela, que la quantité d'eau qui le mouille ne soit pas trop forte et forme une sorte de bouillie.

Si quelques parcelles de métal, faute de cette précaution, étaient retenues dans la rainure, il serait indispensable de les enlever au moyen d'un ressort d'acier dentelé.

Après une première section, en déplaçant l'échantillon perpendiculairement au plan du disque, dans la rainure de la lame *b*, fig. 5, on en peut détacher une deuxième. La lame est plus ou moins épaisse, suivant le déplacement qu'on a fait subir à l'échantillon.

Si l'opération est bien conduite, on obtient deux surfaces, planes il est vrai, mais qui ont besoin de subir un travail ultérieur pour laisser voir nettement les détails d'organisation; ce travail est celui du polissage.

Pour exécuter ce travail le plus simplement possible, on se servira de plaques de zinc d'une épaisseur de deux millimètres environ, et larges de quelques décimètres carrés, reposant sur un plateau de bois ou sur une table plane; à la surface, on dépose de la boue d'émeri n° 1, puis n° 0, et on use l'échantillon, jusqu'à la disparition complète des

stries laissées par la scie circulaire, on obtient une surface mate, mais à gros grain.

La première lame de zinc est remplacée par une autre recouverte d'émeri plus fin, n° 20 minutes; après cette nouvelle usure, la surface présente un grain beaucoup plus doux, qu'on atténue encore, en se servant d'une troisième plaque portant de l'émeri n° 120 minutes; cette opération donne un commencement de poli que l'on rend parfait avec du rouge d'Angleterre, d'abord à l'état humide, puis à l'état sec, recouvrant une étoffe de drap épais, ou une peau de chamois convenablement tendue.

Lorsque les plaques de zinc commencent à se creuser d'un côté, on les retourne de l'autre avant de les remplacer; il est essentiel que les surfaces restent sensiblement planes.

Le polissage s'obtient plus rapidement au moyen de l'appareil suivant fig. 6 :

Avec cet appareil, l'opération du polissage s'effectue de la même manière et dans l'ordre que nous avons indiqué plus haut; en suivant les indications fournies, on arrive à un très bon polissage qui permet de voir à la loupe et au microscope les détails très délicats de structure superficielle.

Il peut arriver, comme nous l'avons expliqué précédemment, que la section faite à une certaine distance de la surface passe en des points noircis par une trop grande quantité de matière houil-

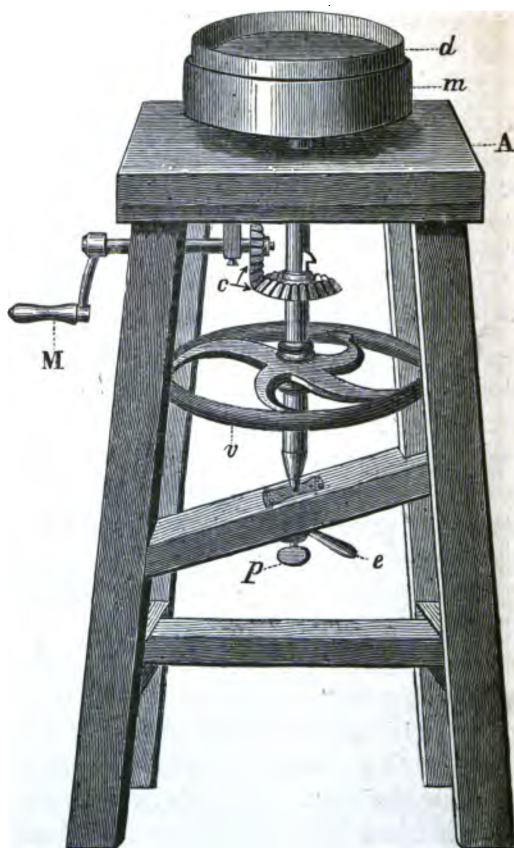


Fig. 6. — Tour à polir les échantillons.

A, bâtis en bois portant le tour à polir. — *m*, rondelle en fonte tournée pouvant être mise en mouvement au moyen

des engrenages coniques *c* par la manivelle M. — M, manivelle. — *v*, volant. — *p*, vis portant à son extrémité une pointe conique en acier trempé qui s'engage dans une cavité également conique creusée dans l'axe vertical sur lequel sont solidement fixés le volant *v* et la rondelle de fonte *m*. L'axe vertical tourne dans un large collier en laiton, engagé dans l'épaisseur du bâtis en bois A. — *e*, levier muni d'un écrou permettant de régler et de fixer la hauteur de la vis *p*. — *d*, disque mobile avec ou sans rebord à la périphérie, fixé par deux chevilles en fer à la rondelle de fonte *m*. Sur le fond du disque se place une lame de zinc circulaire que l'on peut renouveler à volonté aussitôt que l'on remarque qu'elle cesse d'être suffisamment plane. Il est bon d'avoir un disque pour chaque opération distincte de polissage, afin d'éviter le mélange fortuit de grains d'émeri de grosseur différente.

lifiée ; avant le polissage, il sera convenable alors de maintenir quelques minutes la section dans un mélange de chlorate de potasse et d'acide azotique porté à l'ébullition[1] ; toute la surface blanchira, la matière organique étant brûlée à une profondeur d'autant plus grande, que l'action oxydante sera prolongée plus longtemps ; on verra apparaître des détails d'organisation que la couleur foncée de l'échantillon rendait invisible. On procédera ensuite au polissage, comme nous l'avons indiqué ci-dessus.

1. On peut opérer à froid en laissant plongé pendant quelques heures l'échantillon dans de l'acide sulfurique auquel on ajoute de temps à autre une *pincée* de chlorate de potasse pulvérisé.

V. Préparation des lames minces.

Dans bien des cas, il ne suffit pas d'avoir un échantillon à surface polie pour en connaître l'organisation interne, et pour le déterminer spécifiquement, si cette détermination repose sur des caractères anatomiques; il est indispensable, alors, de faire des préparations de lames suffisamment minces pour être transparentes et montrer la structure intérieure.

On dirige les coupes suivant trois plans convenablement choisis, l'un perpendiculaire à l'axe, s'il s'agit d'un rameau par exemple, comprenant la région centrale et la région périphérique, le second dans le sens radial, les préparations doivent intéresser les mêmes régions, enfin, le troisième en direction tangentielle; le nombre des lames minces doit être assez grand pour passer par tous les points dont la structure est indispensable à la connaissance complète du végétal, car le rameau ou la tige à l'étude peut offrir, soit des rameaux secondaires, soit des faisceaux vasculaires se rendant aux feuilles, soit même des racines adventives.

Les opérations devront se modifier suivant la nature de l'organe; si, au lieu d'un rameau, on a affaire à une graine dressée, on détachera d'abord,

après en avoir pris les différentes dimensions, une coupe transversale passant par la région médiane, puis, avec les deux portions restantes, on fera deux autres préparations, l'une passant par le micropyle et l'autre par le chalaze; il est clair que si l'on possédait plusieurs échantillons de la même graine, il serait plus facile et plus avantageux de tirer chacune des trois coupes indiquées, d'échantillons différents.

La marche des opérations est donc subordonnée à la portion du végétal que l'on veut connaître, et l'on doit observer attentivement à la loupe tous les détails qui doivent guider sur le meilleur parti que l'on peut tirer de l'échantillon.

Lorsque l'on sera fixé sur la direction des coupes à effectuer, on opérera en prenant les précautions que nous avons indiquées, pour détacher une lame de 1/2 à 1^{mm} d'épaisseur. Il est rare que l'une des surfaces de la lame passe, précisément, par les parties que l'on désire conserver, aussi est-il nécessaire d'user, soit sur une lame de zinc, soit au moyen du tour que nous avons décrit, l'une des deux surfaces, jusqu'à ce que l'on soit arrivé au point intéressant que l'on doit conserver, ce que l'on reconnaît en faisant usage suivant les cas de la loupe ou du microscope. Ce résultat obtenu, on collera à l'aide de baume du Canada solide, sur une lame de verre chauffée, la face que l'on vient d'user, sans la polir au rouge d'Angleterre, puis on

amincira par l'autre côté la préparation, jusqu'à ce qu'elle soit suffisamment transparente pour montrer au microscope les détails que l'on recherche.

Suivant la nature des fragments qui servent à faire les préparations, plusieurs cas peuvent se présenter.

Ou bien la lame détachée présente une coloration intense masquant les détails, ou bien la coloration brune n'est pas assez forte pour les rendre invisibles, ou bien encore elle a complètement blanchi par la combustion naturelle de la matière organique des tissus.

Dans le premier cas, il est convenable de diminuer l'intensité de la coloration en procédant, comme nous l'avons dit, sans pourtant blanchir complètement la lame, car c'est la matière houillifiée restante qui rendra les détails visibles.

Dans le second, on usera la lame, sans la blanchir.

Dans le troisième, une fois la préparation rendue suffisamment mince, comme les détails des tissus n'y sont visibles qu'à cause de l'air qui occupe la place laissée par le départ de la matière organique, il est indispensable, pour que ces détails continuent à rester visibles, de remplacer l'air par une matière colorante.

On recouvre en effet généralement les préparations terminées, d'une lame mince de verre maintenue par du baume du Canada solide, dissous en

forte proportion dans l'alcool. Ce vernis possède une réfringence presque égale à celle de la silice, et lorsqu'il prend la place de l'air de la préparation, la plus grande partie des détails disparaît ou s'atténue considérablement. On colore la lame avec du violet d'alinine[1] dissous dans l'alcool, en ayant soin d'enlever complètement l'excès avec un linge humecté de ce liquide; dans ces conditions, même après une pénétration complète du baume, tous les détails ressortiront avec la plus grande netteté.

Comme la dessication du baume ne s'effectue qu'avec une certaine lenteur, il est utile de conserver les lames de verre qui portent les préparations dans une position horizontale, pendant plusieurs semaines, avant de les serrer dans des boîtes appropriées.

Les détails qui précèdent se rapportent surtout aux échantillons conservés par la silice; s'ils se présentaient à l'état de carbonate de chaux et de fer, le mode de sciage et de polissage, ainsi que la manière de faire les préparations, n'auraient pas à subir de changement; mais comme la dureté de la silice est beaucoup plus grande que celle des

1. On peut encore appliquer au pinceau de l'encre de Chine bien préparée, ou simplement de l'encre ordinaire; les couleurs d'aniline ont l'inconvénient de pâlir au bout de quelque temps.

matières citées en dernier lieu, les diverses opérations sont beaucoup plus rapides, et on doit tenir compte de cette circonstance, surtout lorsque l'on amincit les préparations qui sont plus tendres, moins tenaces et se désagrègent plus facilement.

Il est inutile d'ajouter que l'altérabilité de la matière pétrifiante rend ici impossible l'emploi de l'acide azotique et du chlorate de potasse, dans le but d'éclaircir les préparations.

VI. Végétaux conservés a l'état de lignite.

Si les débris de végétaux se présentent sous la forme de lignite, leur préparation n'offre aucune difficulté.

Dans le cas où il s'agit de portions d'organes de petites dimensions, tels que feuilles, écailles, chatons, etc..., après les avoir ramollis en les chauffant quelque temps dans de la glycérine, on les met en cellules sur des lames de verre, comme on le fait pour les fragments de plantes vivantes.

Si l'on veut exécuter des préparations dans des fragments de bois, les tissus étant généralement comprimés et rétractés, surtout lorsqu'ils sont desséchés, il est indispensable de leur rendre un peu de souplesse en les faisant bouillir quelque temps dans de la glycérine étendue de son volume d'eau.

Les coupes seront exécutées à l'aide du rasoir, et placées dans une dissolution faible de soude, de manière à dissoudre l'acide ulmique et diminuer leur opacité; après un lavage à l'eau, on les conservera en cellules.

La préparation des graines au moyen de coupes faites au rasoir est fort difficile à effectuer; il est préférable d'user la graine jusqu'au point que l'on veut conserver, de laver la portion restante dans une dissolution alcaline, puis à grande eau, de coller ensuite au baume de Canada, sur une lame de verre, le fragment desséché préalablement, enfin d'user pour rendre la préparation transparente; le tour que nous avons décrit plus haut ou une simple lame de zinc avec de la poudre d'émeri (5 minutes) suffisent pour donner un bon résultat.

Lorsque le bois est à l'état de fusain, son étude microscopique ne peut guère se faire qu'en l'examinant au moyen de la lumière réfléchie; avec un éclairage convenable, on distingue assez facilement les ornements qui peuvent se trouver sur les parois des éléments ligneux.

VII. Végétaux conservés a l'état de houille.

La préparation des débris de végétaux conservés à l'état de houille offre certaines difficultés inhérentes au peu de consistance que présentent les

matériaux que l'on doit mettre en œuvre, et à la minceur extrême que les préparations doivent atteindre pour devenir transparentes.

Nous distinguerons les différents cas qui peuvent se présenter :

1° Tantôt les échantillons se présentent à l'état d'empreinte et sous la forme de minces pellicules charbonneuses.

2° Tantôt ils sont noyés dans une masse amorphe houillifiée comme eux.

3° D'autres fois, lorsqu'ils sont suffisamment volumineux, ils forment des amas plus ou moins considérables dans les grès ou les schistes.

1° Ce sont les feuilles de Fougères, de Cordaïtes, de Cycadées, des portions plus ou moins complètes d'écorces etc..., qui, peuvent se rencontrer sous la première de ces formes. Nous avons dit plus haut que dans certains schistes la conservation était assez bonne pour que l'on pût détacher de la roche des parties plus ou moins importantes de frondes, ou d'organes fructificateurs. Il est clair que l'on ne peut espérer, s'il s'agit d'une feuille, obtenir une préparation renfermant les détails anatomiques du limbe ; le tissu parenchymateux ou mésophylle houillifié trop peu résistant s'est contracté, aplati, les parois des cellules arrivées au contact se sont soudées, et l'ensemble ne constitue plus qu'une pellicule brillante extrêmement mince, homogène, dans laquelle

si une préparation était possible, on ne saurait distinguer les cellules les unes des autres.

Il n'en est pas de même de la partie extérieure comprenant la cuticule, les cellules épidermiques, et parfois des bandes d'hypoderme; ces derniers tissus, beaucoup plus résistants, ont été moins écrasés, et non seulement ils peuvent présenter à la lumière réfléchie des traces d'organisation reconnaissables, mais encore donner lieu à d'interressantes préparations. Il est indispensable toutefois de faire disparaître la pellicule de houille provenant du mésophylle et intercalée entre la face supérieure et la face inférieure.

La houille provenant des différents tissus des végétaux ne se présente ni avec le même état moléculaire, ni avec les mêmes propriétés, celle qui résulte de la transformation des tissus cuticulaires, épidermiques, subéreux, etc., offre aux agents chimiques une résistance plus grande que celle des tissus mous ou incomplètement lignifiés, ayant conservé en quelque sorte un des caractères propres aux tissus dont elle provient.

Si donc on traite avec ménagement des portions de frondes par un mélange de chlorate de potasse et d'acide azotique à froid, ou en employant la chaleur[1], si l'attaque était difficile, l'action oxydante

1. On peut encore laisser digérer à froid pendant un temps suffisant les organes houillifiés dans de l'acide sulfurique

du réactif se portera surtout sur la pellicule de houille du mésophylle ; celle-ci, transformée en produits ulmiques, devient soluble dans une dissolution ammoniacale.

On doit après chaque traitement laver avec de l'eau, pour enlever soit l'excès d'acide, soit celui d'alcali. Quelquefois, plusieurs opérations semblables et alternantes sont nécessaires pour donner une transparence suffisante aux tissus restants.

Ces tissus sont, comme nous l'avons dit, formés de cuticules, de cellules épidermiques, quelquefois de bandes d'hypoderme ; au milieu du tissu épidermique, il n'est pas rare de distinguer les ostioles des stomates, dont la position, soit à la surface, soit dans des dépressions spéciales, la répartition uniforme sur le limbe ou la localisation dans certaines régions peuvent fournir des renseignements utiles et importants à noter. Les diverses préparations ainsi obtenues sont conservées en cellules.

2° Si les débris sont incorporés dans une masse de houille amorphe, ou bien ils forment ces veines brillantes plus ou moins épaisses, plus ou moins étendues, que l'on remarque en cassant un morceau de houille pris au hasard, ou bien ils font partie des bandes plus ternes moins pures qui les séparent.

Les bandes brillantes sont formées souvent de

concentré, auquel on ajoute de temps à autre une petite quantité de chlorate de potasse *pulvérisé*.

portions de bois, d'écorces ou d'autres tissus plus mous, quelquefois de feuilles superposées et comprimées, ou d'amas de racines, etc. Lorsque la houille n'est pas trop délitée ou fissurée, il est possible de détacher des fragments de ces zones brillantes et d'en faire des préparations; nous indiquerons plus loin les précautions indispensables à la réussite de cette opération délicate. La houille qui provient de tissus végétaux offrant originairement une grande consistance, une lignification complète, fournira seule des préparations dans lesquelles l'organisation sera appréciable; celle, au contraire, qui résulte de la transformation des tissus mous, paraîtra amorphe.

Avec un peu d'habitude, en regardant au microscope à la lumière réfléchie, sous un grossissement de 40 diamètres environ, et sous une incidence convenable, il est possible, dans bien des cas, de reconnaître d'avance si la houille que l'on veut préparer est ou non organisée.

Si les débris organiques font partie des bandes ternes, ce sont ordinairement des grains de pollen, des macrospores, microspores, des fragments mutilés d'organes divers, etc., que l'on trouve mélangés avec des matières étrangères minérales. Des préparations dans ces veines moins brillantes ne sont guère possibles. Plusieurs procédés ont été cependant employés pour reconnaître leur constitution.

L'un d'eux consiste à pulvériser quelques-unes de ces zones ternes, à mélanger intimement la poussière qui en résulte avec du baume du Canada fondu, ou mieux avec de la glu marine. On étend ensuite une couche de ce mélange sur une lame de verre et l'on use avec précaution jusqu'à ce que l'on ait obtenu une transparence suffisante.

Un autre procédé consiste à traiter la poussière de houille par un mélange d'acide azotique et de chlorate de potasse ; si l'opération est conduite avec précaution, la houille amorphe seule est attaquée, après décantation, lavage à l'eau pure, puis à l'eau alcaline ; le résidu examiné au microscope laisse voir les organes qui ont résisté à l'action oxydante, tels que grains de pollen, macrospores, débris d'écorce, fragments de vaisseaux, etc.

3° Lorsque les plantes conservées à l'état de houille sont engagées dans les grès ou les schistes et forment des masses plus ou moins volumineuses, ce sont ordinairement des branches, des troncs de Cordaïtes, de Calamodendrées, des stipes de Fougères, etc., souvent assez complets, qui ont produit ces amas ; la houille comprimée par les grès ou les schistes est généralement plus compacte et plus dure que celle produite par les mêmes végétaux, mais emprisonnée au milieu même de la houille ordinaire. Très souvent la loupe ou le microscope permettent d'y distinguer non seulement des traces d'organisation, mais encore de

reconnaître à quelle famille de plantes les débris appartiennent.

Les troncs sont presque toujours fortement aplatis et une section transversale est représentée par une ellipse, dont le petit axe est beaucoup plus petit que le grand. Si donc on veut faire une section longitudinale radiale, comme les bandes rayonnantes ont été rendues par la pression sensiblement parallèles au plan passant par le grand axe de l'ellipse, c'est parallèlement à ce plan que les sections devront être dirigées. Les coupes dirigées au contraire parallèlement au plan du petit axe fourniront des sections tangentielles.

Voici les précautions que l'on devra prendre, pour obtenir des coupes transparentes. Après avoir détaché un fragment de houille, on l'usera sur le tour, de façon que la face usée soit parallèle à l'une des trois directions ordinaires transversale, radiale, tangentielle; puis sur un disque plan en bois tendre et de l'émeri humecté n° 120 minutes, on polira la face obtenue, celle-ci ne doit présenter aucune strie, et avoir l'aspect d'un miroir.

Après avoir chauffé avec précaution l'échantillon pour le dessécher, on le fixera par la face polie sur une lame de verre, au moyen de baume du Canada, en évitant avec soin la présence de toute bulle d'air.

L'échantillon, fixé, est usé ensuite sur le tour jusqu'à ce qu'il soit réduit à quelques dixièmes de

millimètres; on emploiera pour arriver à cette faible épaisseur de l'émeri n° 120 minutes délayé dans de la glycérine, l'eau ordinaire déterminant la séparation de la mince pellicule de houille et de la lame de verre.

Pour terminer la préparation qui est encore opaque, on la portera sur une loupe montée, et au moyen d'un morceau de liège taillé en forme de cône à pointe arrondie et complètement exempt de parties dures, on continuera d'user avec le même émeri jusqu'à ce que l'on soit arrivé à une transparence convenable. On suit facilement, grâce au miroir de la loupe montée, les degrés divers de cette transparence, et on s'arrêtera lorsque la lumière transmise aura acquis une teinte brun jaunâtre.

Dans cet état la préparation conserve encore suffisamment d'épaisseur pour contenir une ou deux rangées superposées d'éléments ligneux houillifiés.

Si la préparation est bien conduite, on pourra distinguer, sur une coupe radiale, les raies ou les ponctuations des trachéides, les rayons médullaires, etc., quoique les parois des éléments du bois semblent être arrivées au contact, ce qui laisserait supposer que ce contact n'est pas absolu.

Pour conserver les préparations, on les recouvrira d'une lame de verre mince, maintenue au moyen d'une solution épaisse de gomme additionnée d'un peu de glycérine.

Comme les préparations tirées de la houille sont d'une exécution assez délicate, nous rappellerons les quelques caractères extérieurs qui permettent de déterminer avant toute préparation les portions de plantes contenues soit dans les veines de houille, soit dans les grès ou les argiles.

VIII. Troncs de fougères.

S'il s'agit de troncs de Fougères, comme ce sont les racines adventives descendant le long du stipe, qui ont fourni dans ce cas la plus grande partie de la houille, ce sont elles qui sont le plus apparentes; elles se distinguent facilement en coupe transversale, sous la forme de disques elliptiques serrés les uns contre les autres; la partie périphérique de chaque disque est brillante, elle correspond aux cellules prosenchymateuses houillifiées de la région corticale de la racine; la partie centrale est terne, elle résulte de la transformation du tissu parenchymateux et des faisceaux vasculaires occupant le centre de la racine. Si la section du stipe de Fougère est complète, l'ensemble des racines forme une sorte de cylindre elliptique très aplati à surface relativement brillante, entourant une bande allongée plus terne, correspondant au cylindre ligneux houillifié. Dans cette bande observée avec attention, on peut distinguer à la loupe

des lames de différente nature, les unes appartenant aux faisceaux vasculaires et au tissu prosenchymateux qui souvent les accompagne, les autres au tissu fondamental dans lequel les faisceaux vasculaires sont plongés.

La distinction d'un stipe de Fougère houillifié, qu'il se présente dans la houille même, ou bien qu'il soit renfermé dans des couches d'argile ou de grès, n'offre donc aucune difficulté ; il suffit de présenter une cassure transversale à la lumière sous une incidence convenable, facile à trouver, pour retrouver immédiatement les différents caractères que nous venons d'énumérer.

IX. Débris de cordaïtes.

Les troncs de Cordaïtes ou leurs rameaux étant formés par un bois parfaitement homogène, sont bien plus difficiles à reconnaître, quand ils sont transformés à l'état de houille, que les stipes de Fougères.

En section transversale le bois houillifié de Cordaïte se montre formé de lames brillantes extrêment minces, provenant de la houillification des séries rayonnantes des trachéides, séparées par des lignes plus mates dues aux rayons médullaires. En se servant d'un grossissement de 30 à 40 diamètres, les lames brillantes présentent de petites

dépressions ponctiformes rangées en ligne, et qui indiquent le centre de chaque trachéide.

Si le fragment est assez complet pour contenir la région médullaire, une cassure longitudinale passant par cette région, dans le plan du grand axe d'aplatissement, montrera des bandes transversales dues aux cloisons cellulaires auxquelles se réduit de bonne heure la moelle des Cordaïtes.

Les feuilles de ces végétaux se rencontrent assez fréquemment dans le terrain houiller supérieur, elles ont laissé chacune un feuillet de houille très appréciable, et il est possible, au moyen de coupes transversales perpendiculaires au limbe, de mettre en évidence l'épiderme supérieur et inférieur, les bandes hypodermiques et les faisceaux vasculaires des nervures. Comme généralement elles sont réunies en assez grand nombre et superposées, formant quelquefois des couches de 8 à 10 centimètres d'épaisseur, leur détermination avant toute préparation est relativement facile, en cassure transversale elles forment des lames brillantes, d'épaisseur assez régulière et assez étendues; en cassure parallèle aux limbes superposés, elles laissent voir leur nervation caractéristique.

Quant aux graines de Cordaïtes, elles sont presque toujours reconnaissables à leur aspect cordiforme et à l'épaisseur de la houille laissée par l'*endotesta* qui présente, comme l'on sait, un assez grand développement.

X. Troncs de sigillaires.

Le bois des Sigillaires se rencontre assez rarement dans la houille; en cassure tranversale, les bandes brillantes sont à peine distinctes les unes des autres, le tissu primitif étant d'une homogénéité parfaite, et les rayons médullaires peu développés; de légères dépressions alignées parallèlement marquent seulement le centre des trachéides.

Si la partie centrale est conservée, la détermination devient plus facile, le bois centripète se détachant assez nettement du bois centrifuge.

Les écorces de Sigillaires sont au contraire extrêmement communes, on les rencontre à tous les états, depuis un âge très jeune et portant encore les cicatrices des feuilles, jusqu'à un âge très avancé et présentant les cicatrices de Syringodendron.

Leur détermination n'offre aucune difficulté; comme le tissu qui formait la partie subéreuse des écorces de Sigillaire était compacte, lignifié et souvent très épais, la quantité de houille laissée par ces écorces est considérable, et elle a conservé une organisation facile à reconnaître.

Les remarques sur les Sigillaires, qui précèdent, peuvent s'appliquer en tous points aux tiges et aux écorces des Lépidodendrons.

La forme des cicatrices et les appareils sécréteurs, si développés dans les écorces des vieilles Sigillaires, ne permettent pas de les confondre avec les écorces de Lépidodendrons âgés qui en sont dépourvus.

XI. Troncs de calamodendrées.

La famille des Calamodendrées comprend, comme l'on sait, les genres suivants : *Bornia, Arthropitus, Calamodendron.*

Le premier de ces genres ne se rencontre que dans le terrain houiller inférieur; il ne peut être confondu, par conséquent, avec le genre Arthropitus, plus récent et qui appartient à la partie supérieure du terrain houiller moyen et au terrain houiller supérieur. A l'état de houille, le bois de ces deux genres présente *extérieurement* une grande analogie. Nous donnerons les caractères extérieurs du bois d'Arthropitus, comme étant beaucoup plus développé et plus répandu que celui des *Bornia.*

Le cylindre ligneux des Arthropitus est formé de coins de bois composés d'éléments homogènes, mais séparés très fréquemment par des rayons médullaires assez épais, s'étendant du centre à la périphérie.

En cassure transversale, le bois houillifié paraîtra donc formé de bandes brillantes plus ou moins

épaisses correspondant aux coins ligneux, et séparés par des lignes beaucoup plus étroites mates, produites par les bandes cellulaires situées entre les coins de bois. En cassure tangentielle, il est possible quelquefois de distinguer la section des nombreux rayons ligneux assez épais qui séparent les séries de trachéides.

Si la partie centrale est conservée, une cassure transversale montrera les coins ligneux se terminant en pointe aiguë du côté de la moelle ; quelquefois cette pointe offre une dépression indiquant la présence d'une lacune.

L'organisation toute particulière des Calamodendrons permet de les reconnaître avec la plus grande facilité. Les coins de bois sont accompagnés, comme l'on sait, sur chacune de leur face, d'une bande épaisse de cellules prosenchymateuses ; une cassure tranversale montrera chaque coin ligneux houillifié sous forme d'une bande assez brillante, accompagnée de chaque côté par une bande plus éclatante encore due à la couche prosenchymateuse. Deux de ces dernières bandes sont donc voisines, mais, à la loupe, sous une inclination convenable, on peut reconnaître une ligne terne qui les sépare et due à une lame de tissu cellulaire.

Une cassure tangentielle présente les mêmes particularités qui précèdent.

La houille formée du bois de calamodendron

présente très souvent une organisation des plus nettes, et avec un peu d'habitude on peut, sur la cassure seule, déterminer certaines espèces.

L'écorce est rarement conservée ; cependant, dans plusieurs cas, nous l'avons rencontrée reconnaissable autour du bois d'Arthropitus et de Calamodendron.

CHAPITRE III

ROLE DES PLANTES FOSSILES DANS LA FORMATION DE LA HOUILLE.

Dans les deux chapitres précédents, nous avons fait allusion aux plantes conservées à l'état de houille, et aux procédés que l'on pouvait mettre en usage pour mettre en évidence les détails de structure qui rendent leur présence dans l'intérieur même de ce combustible absolument certaine ; mais, comme la houille est loin de présenter dans toutes ses parties une organisation appréciable, qu'il y a des variétés où il n'est guère possible même d'en rencontrer des vestiges, on est en droit de se demander si les débris de plantes ont concouru seules à sa formation.

Le sujet présentant de l'intérêt, nous croyons devoir consacrer quelques pages à l'exposition des opinions les plus répandues sur son mode de formation.

Ce combustible est, comme on le sait, réparti sur la terre à toutes les latitudes, depuis les ré-

gions glacées du Groënland jusqu'au Zambèze entre les tropiques ; il occupe des espaces immenses dans l'Amérique du nord, en Russie, en Allemagne, en Belgique, en Angleterre, etc., etc. Utilisé par les Chinois, dès la plus haute antiquité, pour la cuisson des poteries et de la porcelaine, employé par les Grecs pour le travail du fer, il paraît avoir été inconnu des Romains. Actuellement il est l'élément indispensable des plus grandes comme des plus petites industries, et son importance justifie toutes les recherches, tous les travaux, qui ont été faits pour connaître son origine.

Les hypothèses les plus variées ont été mises en avant pour expliquer sa formation. Nous ne citerons que les suivantes.

1° On y a vu le résultat d'éruptions de bitume fondu venant des profondeurs et recouvrant, *pénétrant* les feuilles, rameaux, écorces, bois, racines, organes reproducteurs, etc..., de plantes accumulées par les eaux dans les bas-fonds, les lacs, les estuaires, et dont les reliefs les plus délicats, les empreintes les plus fines, la structure intime auraient été conservés par cette espèce de goudron devenu solide en se refroidissant.

2° On l'a aussi considérée comme le résultat de la décomposition plus ou moins complète de plantes, sous l'influence de la chaleur et de l'humidité, décomposition qui aurait conduit les végé-

taux à passer par les principales étapes suivantes : *tourbe, lignite, houille, anthracite.*

3° Enfin, tout en admettant que la décomposition des plantes puisse amener la matière organique à prendre ces divers états, d'autres savants pensent que, pour devenir de la houille, il n'est pas nécessaire à cette matière d'avoir été tourbe et lignite, et qu'à l'époque houillère les plantes pouvaient passer immédiatement, si les conditions étaient favorables, à l'état de houille; de même, aux époques secondaires et tertiaires, l'altération des tissus végétaux conduisait généralement aux lignites, tandis que maintenant, dans les hautes latitudes, elle donne naissance à la tourbe.

En d'autres termes, la nature du combustible formé à chaque grande période géologique dépendait de conditions climatériques générales et d'actions chimiques locales.

L'anthracite et la houille appartiendraient surtout aux temps primaires, les lignites aux temps secondaires et tertiaires, et la tourbe à notre époque, sans que les tourbes puissent jamais devenir lignites, ni ceux-ci houille.

Quant à l'accumulation, dans certaines régions privilégiées, de masses considérables de combustible et à leur absence complète dans d'autres appartenant à la même formation géologique, on les a attribuées tantôt à la présence d'immenses forêts poussant sur un sol bas et humide, exposé

à des abaissements et des soulèvements alternatifs, et dont les débris allaient en s'accumulant pendant les périodes d'exhaussement sous l'influence d'une végétation puissante; tantôt au transport dans des lacs de grande étude ou dans des estuaires de végétaux de toutes sortes arrachés aux forêts riveraines par les torrents, les rivières et les fleuves.

Nous reviendrons un peu plus loin sur ces deux manières d'expliquer l'accumulation souvent énorme des plantes dans les bassins houillers.

I. Hypothèse de la formation de la houille par éruption de bitume fondu.

Dans la première hypothèse, si les empreintes que l'on trouve souvent dans la houille, telles que *feuilles* de Cordaïtes, *écorces* de Sigillaires, de Lépidodendrons, *bois* de Cordaïtes et de Calamodendrons, etc..., ne sont que superficielles et de simples moulages exécutés par un bitume particulier, jadis fluide, maintenant solidifié, ne ressemblant par ses propriétés chimiques et physiques à aucun autre bitume connu, on ne doit trouver au-dessous des empreintes, à l'intérieur, aucune trace de conservation ni aucune trace de structure. Or, nous avons vu plus haut qu'en faisant des préparations suffisamment minces pour être transparentes dans des fragments de houille uniquement

formés en apparence de ce bitume et d'empreintes de feuilles de Cordaïtes, on arrivait à distinguer, sur une coupe perpendiculaire au limbe, les cuticules et le premier rang de cellules épidermiques, les faisceaux vasculaires qui correspondent aux nervures, les bandes hypodermiques; toutefois les cellules lâches à parois minces du mésophylle ne se voient plus, parce que, écrasées par la pression, leurs parois se touchent.

Les portions de houille renfermant des empreintes d'écorces de Sigillaires ou de Lépidodendrons laissent voir encore plus nettement le tissu subéreux allongé, caractéristique de ces écorces; les bois de Cordaïtes, d'Arthropitus, de Calamodendrons, offrent, comme nous l'avons déjà dit, une structure parfaitement reconnaissable.

Si l'on voulait admettre que le bitume a été suffisamment fluide pour injecter dans toutes leurs parties les débris de végétaux, comme la silice, les carbonates de chaux et de fer l'ont fait dans un si grand nombre de cas, on viendrait se heurter à une grave difficulté.

En effet, le nombre est très grand des fragments de houille, *isolés* dans les schistes et les grès et sans *aucune communication* avec des veines de houille ou de bitume, qui auraient fourni la matière nécessaire à l'injection du végétal. On ne peut donc pas admettre un instant cette hypothèse, qui aurait entraîné la pénétration bien plus

facile des grès et des argiles environnants, et cependant cette gangue perméable est restée intacte et a conservé sa couleur habituelle, grise ou blanc-jaunâtre.

On ne peut admettre davantage que l'injection des plantes par le bitume se soit faite en certains points déterminés, et qu'après cette opération elles aient été transportées là où on les rencontre, car il n'est pas rare de trouver des troncs de *Calamodendron*, d'*Arthropitus*, de *Fougères*, encore munis de leurs racines, longs de 4 à 10 mètres, dont le bois houillifié entoure la moelle remplacée par un moule pierreux ; le fragile cylindre ligneux se serait certainement brisé pendant le transport.

Les échantillons houillifiés n'ont jamais été fluides ou pâteux, car ce sont eux qui ont laissé leurs empreintes avec les plus fins détails dans les chistes et les grès, et non ces derniers qui ont laissé leurs traces sur la houille.

La surface des fragments isolés est nette et leur séparation de la gangue qui n'a jamais été pénétrée est des plus faciles.

D'un autre côté, s'il y avait eu injection de la matière goudronneuse dans les tissus, un fragment de bois houillifié présenterait l'aspect d'une masse compacte résinoïde, l'intérieur des cellules et des vaisseaux serait rempli de bitume et ne se laisserait pas pénétrer par l'eau et les gaz ; or le bois houillifié est *poreux*, et c'est à cette porosité

qu'est due le gondolement et la séparation de leur support, des lames minces de houille en préparation ; il semble que la lamelle se gonfle sous l'influence de l'eau qui distend les tissus.

Le microscope, du reste, ne montre pas de bitume dans les cellules et les vaisseaux, mais seulement que les parois en sont plissées, qu'elles sont arrivées à se toucher en bien des points, sous l'influence de la pression, sans pourtant se souder et se confondre.

Les faits que nous venons de signaler sont complètement contraires à l'hypothèse de la formation de la houille par voie d'éruption de bitume ayant empâté, injecté et soudé d'immenses amas de débris végétaux.

Nous allons examiner les deux autres hypothèses.

II. Hypothèse de la formation de la houille par le passage successif des végétaux a l'état de tourbe, lignite, houille, anthracite.

La place occupée dans les terrains sédimentaires par les tourbes, les lignites, la houille et l'anthracite, la structure organique que l'on trouve de moins en moins distincte, à mesure que l'on passe de l'un de ces combustibles au plus ancien, ont fait émettre l'opinion rappelée plus haut,

savoir, que la matière végétale, éprouvant sous l'action prolongée de la chaleur et de l'humidité une altération de plus en plus grande, passait successivement par ces divers états, dont la composition est indiquée dans le tableau suivant.

	H	C	O	Az*	coke	cendres	densité
Amidon . . . / Cellulose. . . . / Vasculose. . . .	6,17	44,44	49,38				1,47
Tourbe	5,63	57,03	29,67	2,09		5,58	
Lignite	5,59	70,49	17,20	1,73	49,1	4,99	1,2
A. Ulmique. . .	3,85	65,31	30,83				
Ulmine.	3,38	69,56	27,05				
Houille. . . .	5,14	87,45	4,00	1,63	68	1,78	1,29
Anthracite. . .	3,30	92,50	2,53	»	89,5	1,58	1,3

En comparant ces chiffres entre eux, on voit que la quantité d'hydrogène diminue dans des proportions assez notables, que le poids du carbone augmente au contraire assez rapidement, tandis que celui de l'oxygène diminue.

On en a conclu que dans les premières transformations des matières organiques végétales, c'était d'abord de l'hydrogène protocarboné qui

* L'azote, le phosphore que l'on trouve toujours dans les houilles proviennent vraisemblablement du protoplasma, des spores, du pollen, des graines que l'on reconnaît en abondance dans la houille.

se dégageait, et puis plus tard de l'acide carbonique.

Non seulement il est impossible d'indiquer actuellement par quelles opérations ces transformations se sont effectuées, et de les représenter par des formules chimiques, mais le problème restera peut-être encore longtemps insoluble; en effet, la houille est un produit essentiellement complexe qui provient de l'altération des tissus divers, appartenant aux plantes les plus variées; il est impossible que la dissemblance d'origine n'ait pas amené, même dans des conditions identiques de milieu et de traitement, des différences physiques et chimiques dans les produits définitifs; certains procédés que nous avons indiqués plus haut pour la préparation des plantes houillifiées montrent, en effet, qu'un même orgagne, une feuille, par exemple, renferme de la houille à divers états, bien que cette feuille ait été soumise dans toutes ses parties aux mêmes causes d'altération; nous reviendrons, du reste, sur cette question.

De l'impossibilité où l'on est maintenant de traduire par des formules chimiques les réactions qui auraient fait passer la cellulose à l'état d'anthracite, en devenant successivement *lignite* et *houille,* on ne peut conclure que ces états intermédiaires n'ont pas été franchis par les matières végétales en voie de transformation; les analyses que nous avons rappelées plus haut ne représentent

en effet que des moyennes de composition, se rapportant à une transformation en bloc d'organes divers, de plantes variées, et il serait bien extraordinaire que ces moyennes pussent s'accorder avec les transformations subies par un produit bien défini comme la cellulose.

Du reste, la présence constante et notable de l'azote, celle du phosphore, dans les lignites, la houille et l'anthracite montrent que des produits nombreux autres que le squelette organique des plantes ont dû concourir à la formation de la houille.

Pour résoudre une partie du problème et soumettre l'hypothèse de ces transformations successives à une sorte de vérification chimique, il faudrait faire porter l'analyse sur le bois d'une même plante prise aux différentes phases indiquées ; malheureusement il n'existe pas de plante actuellement vivante remontant à l'âge de la houille et pouvant se trouver à ces divers états ; cependant, si l'on remarque que le bois homogène sans conduits résineux de certaines conifères varie assez peu dans sa composition, qu'il se rencontre dans les tourbières, qu'il se trouve à l'état de lignite, et que certaines plantes houillères, comme les Cordaïtes dont on voit les troncs nombreux isolés dans la houille ou dans les schistes, permettent de continuer l'investigation, il semble que le problème pourrait être abordé et en partie résolu par les chimistes.

Toutefois, en attendant ces recherches intéressantes, nous ferons les remarques suivantes : L'anthracite ne se rencontre pas uniquement dans le terrain houiller inférieur, mais on en trouve dans le terrain houiller moyen et supérieur; la houille elle-même se rencontre assez abondamment dans les terrains secondaires; de plus, il semble résulter des observations suivantes que les matières végétales une fois transformées en lignite, houille, etc., si elles sont garanties contre l'action de l'air et celle d'eaux minérales par des couches de terrain assez épaisses et assez imperméables, conservent la composition chimique qu'elles avaient atteintes avant leur enfouissement.

On sait que les terrains houillers de Commentry, de Bézenet, de Swansca, de Montchanin, renferment dans des bancs de grès, ou de grès argileux, souvent même dans les couches du combustible, une assez grande quantité de *gravier* de houille.

Quelquefois les fragments présentent une cassure analogue à celle de la houille ordinaire, avec des angles encore vifs indiquant qu'ils n'ont pas été roulés ; le grès ou l'argile en a pris exactement les détails de surface, que l'on retrouve en creux dans la gangue; d'autres fois, ces fragments présentent l'aspect de véritables galets ou de cailloux roulés.

Ces cailloux de houille n'ont pas été déformés

sous la pression des grès environnants, ils n'ont pas subi de retrait depuis leur enfouissement et la solidification de la gangue, car leur surface est en contact avec la surface interne de leur moule ; tout porte à croire qu'ils ont été arrachés de bancs houillers préexistants et déposés, possédant déjà leur dureté et leur volume définitifs, en même temps que les argiles et les sables dans lesquels ils sont enclavés.

Il était intéressant de rechercher l'âge auquel on pouvait rapporter la houillification des plantes contenues dans ces fragments, évidemment plus anciens que ceux également isolés, auxquels nous avons fait allusion plus haut et qui, représentant des troncs presque complets de végétaux, n'ont pu être transportés *tels*, à cause de leurs dimensions et de la fragilité de la houille *faite*.

Par quelques-unes de leurs propriétés physiques, les cailloux de houille diffèrent de ces fragments isolés plus récents, et de la houille ordinaire du gisement de Commentry. Ils sont moins compacts, leur densité est plus faible, une mince couche d'eau déposée à la surface est promptement absorbée, ce qui indique une plus grande porosité ; leur cassure est mate, ils sont rayés par la houille brillante et se laissent couper plus facilement avec le rasoir.

Sur une cassure fraîche on reconnaît à la loupe, ou au microscope, qu'ils sont formés les uns de

houille ordinaire, c'est-à-dire, composés de lames d'épaisseur variable, brillantes et ternes, avec ou sans traces extérieures d'organisation; les autres, de morceaux de bois divers à structure conservée. Réduits en lames minces et transparentes, ces derniers nous ont offert l'organisation des bois d'*Arthropitus,* de *Cordaïtes,* de *Calamodendron* et de branches d'*Aulacopteris,* c'est-à-dire, de plantes ligneuses et arborescentes, que l'on rencontre communément dans le terrain houiller de Commentry à l'état d'empreinte ou de charbon.

Dans un grand nombre d'échantillons, la diminution de volume des trachéides est moins grande que celle que nous avons observée sur les mêmes organes des genres correspondants, mais non remaniés. La quantité d'hydrogène et d'oxygène qu'ils renferment est plus grande et les rapproche un peu des lignites.

On ne peut attribuer ces différences à la nature des plantes transformées en houille, puisque nous venons de voir que ce sont les mêmes qui se trouvent de part et d'autre.

Le temps n'y est pour rien non plus, puisque, d'après les idées reçues, ayant été enfouis plus longtemps, la houillification devrait être plus complète, et c'est le contraire qui a lieu. La gangue ne peut pas davantage avoir eu quelque influence, puisque c'est la même de part et d'autre.

Si l'on admet : 1° que les débris végétaux s'al-

tèrent de plus en plus par la macération dans l'eau ordinaire, dans certaines eaux minérales et en présence d'organismes microscopiques qui vivent à leurs dépens ;

2° Qu'à partir de leur enfouissement dans des couches d'argiles et de sables suffisamment épaisses, leur composition chimique ne varie pas sensiblement ;

3° Que les changements importants qui se produisent à partir de ce moment ne portent guère que sur les propriétés physiques, à la suite du départ de l'eau d'hydratation et de la compression dans un milieu *absorbant,* on arrive à se rendre compte assez facilement de ce qui s'est passé.

En effet, lorsque, par suite de l'altération indiquée, la matière végétale eut été amenée, sans grand changement de volume d'ailleurs, à présenter la composition chimique que nous constatons dans la houille moins avancée des galets, elle fut une première fois recouverte de sables ou d'argile et protégée contre une destruction plus profonde ; peu à peu, perdant son eau d'hydratation et diminuant de volume sous la pression, elle acquit les propriétés physiques que nous lui reconnaissons.

Plus tard, cette première région du bassin de Commentry ayant été ravinée, la houille fut arrachée par fragments de son gisement primitif, ceux-ci furent roulés pendant quelque temps, par-

fois brisés, de nouveau recouverts, et cela en même temps que les plantes plus avancées en décomposition (en raison d'une macération plus prolongée), que nous rencontrons au même niveau ; protégés comme ces dernières contre une altération ultérieure, nous les retrouvons actuellement moins avancés en houillification, malgré leur origine plus ancienne, que les autres débris transformés en houille après eux, mais plus profondément altérés lors de leur enfouissement.

Il est encore quelques conséquences importantes qui découlent de l'existence de ces galets de houille.

1° Un même bassin houiller peut renfermer dans une même couche de la houille ou des fragments de houille d'âges différents.

2° Son contour a pu se modifier beaucoup, grâce aux ravinements produits par les cours d'eau qui transportaient les parties anciennes dans les régions plus basses en voie de formation.

3° Enfin, puisque les grès et les schistes plus récents d'un même bassin peuvent contenir de la houille plus ancienne, mais formée par les mêmes espèces de plantes que l'on trouve à ce niveau plus récent, il faut admettre que la transformation en houille des tissus végétaux a été relativement rapide et loin d'exiger un temps énorme, comme on est porté généralement à le croire.

Si donc les lignites ne sont pas devenus et ne deviennent pas de la houille, si la houille ne s'est

pas transformée en anthracite, ce ne serait pas le temps qui aurait fait défaut, mais les conditions climatériques et le milieu.

Il ne faudrait pas cependant conclure, de ce que les plantes à l'état de lignite ont conservé ce dernier état, qu'à l'époque où la houille se formait, la production des lignites était impossible ; nous nous sommes déjà expliqué ailleurs à ce sujet, mais nous ajouterons ici quelques remarques.

Nous croyons que les gisements silicifiés ou carbonatés qui offrent une certaine étendue et une épaisseur suffisante nous ont conservé l'état à peu près fidèle du fond des lacs ou des lagunes où s'effectuait la houillification.

Certaines de ces lagunes, situées dans le voisinage de phénomènes géologiques provoquant l'apparition de sources siliceuses ou carbonatées, ont été envahies par ces eaux minérales qui ont pétrifié, recouvert et conservé les débris qui s'y trouvaient dans l'état même d'altération qu'ils avaient atteint.

On ne peut nier, en effet, qu'un même fragment de silice renferme des débris de bois et d'écorce, des fragments de racines et de feuilles, etc., inégalement conservés, qu'il ne se trouve des tissus ligneux intacts, à côté d'autres tissus qui sont comprimés, à peine déterminables ; qu'il y a des organes extrêmement délicats, dont les parties ont conservé leur position primitive, juxtaposés à d'autres qui sont écrasés ; ces déformations, ces

ruptures sont évidemment antérieures à la pétrification, et la silice ou le carbonate de chaux nous ont transmis fidèlement l'ensemble des débris végétaux, tels que ces substances les ont trouvées et minéralisées.

Il n'y a pas de raison pour supposer que la composition chimique des tissus moulés par la silice ait pu varier dans les couches suffisamment éloignées de la surface ; en effet, dans les échantillons trouvés sur le sol, exposés à l'air depuis longtemps, une couche de quelques centimètres seulement se montre altérée, plus intérieurement la silice a conservé sa couleur noirâtre produite par la matière organique.

Les fragments détachés de la couche même, ou enfouis sous le sol à une certaine profondeur, ne paraissent pas altérés.

Or, en traitant à froid par un mélange d'acide sulfurique et de chlorate de potasse pulvérisé des fragments siliceux, on remarque que la matière organique disparaît plus rapidement dans certains fragments de bois silicifiés, que, dans d'autres, la houillification était donc inégalement avancée. La combustion se fait beaucoup plus vite dans les bois dont la structure rappelle par le plissement le froissement des éléments, ceux du bois transformé en lignite desséché, que dans d'autres bois qui ne présentent pas cet aspect particulier. Les échantillons silicifiés du culm d'Autun et du Roannais résistent

davantage à l'action oxydante des réactifs, rappelant ainsi l'altération plus profonde que les végétaux transformés en anthracite ont subie.

Il résulte de ces remarques que les gisements silicifiés à une certaine distance de leur surface ont dû conserver les débris végétaux dans l'état physique et chimique auquel ces débris se trouvaient, quand ils ont été surpris par la minéralisation, et qu'ils ont pu être conservés, soit à l'état de houille plus ou moins avancée, soit sous celui de fusain ou de lignite.

Entre les différents fragments de plantes silicifiés à structure reconnaissable, on voit très souvent dans les préparations une sorte de poussière végétale sans apparence aucune de structure; la proportion en est variable suivant les échantillons, de sorte que, si l'on supposait un instant que la silice ne fût pas venue minéraliser l'ensemble de ces débris divers houillifiés, ces derniers, soumis à une pression lente au milieu d'une matière *perméable* comme des sables ou des argiles faisant l'office de *filtre,* auraient perdu leur eau d'hydratation, seraient devenus compacts et brillants par place et présenteraient l'aspect de la houille ordinaire[1].

1. On connaît les changements profonds qui se produisent dans le volume, l'aspect, la cassure d'un fragment de bois à l'état de lignite sous l'influence seule de la dessiccation à l'air libre.

Nous croyons donc que les échantillons silicifiés nous présentent l'état des plantes arrivées à des états variés d'altération chimique, dès lors, qui n'ont subi que la première phase de leur transformation. Pour devenir des lignites, de la houille, de l'anthracite, tels que nous connaissons ces substances, il leur manque une compression qui, exécutée dans les conditions que nous avons indiquées, leur communiquerait les propriétés physiques qui caractérisent chacune d'elles.

Nous l'avons dit plus haut, la plupart des analyses d'échantillons de houille ont porté jusqu'ici sur des fragments choisis de manière à donner la composition moyenne de la masse ; rarement on s'est préoccupé de choisir des morceaux de bois ou d'écorce d'une même plante déterminée d'avance au moyen de coupes minces et transparentes, afin de renseigner le chimiste sur l'origine unique et sur la pureté absolue de la houille soumise à son analyse. Cette lacune commence à se combler et nous donnons dans le tableau suivant les résultats d'analyses faites sur des portions diverses de plantes préalablement déterminées.

			Carbone	*Hydrogène*	*Oxygène*	*Azote*
N° 1	Calamodendron.	(5 échant.)	82,95	4,78	11,39	0,48
N° 2	Cordaïte. . . .	(4 —)	82,84	4,88	11,84	0,44
N° 3	Lepidodendron .	(3 —)	83,28	4,88	11,45	0,39
N° 4	Psaronius. . .	(4 —)	81,64	4,80	13,11	0,44
N° 5	Ptychopteris. .	(1 —)	80,62	4,85	14,53	
N° 6	Megaphyton). .	(1 —)	83,37	4,40	12,23	

(M. Carnot).

On le voit par ce tableau, la composition élémentaire des divers échantillons est à peu près la même, et pourtant on avait choisi des plantes très éloignées dans l'échelle botanique ou des parties de plantes très différentes.

Pour les nos 1 et 2, l'analyse a porté uniquement sur le bois ; pour le no 3, seulement sur la partie prosenchymateuse et subérifiée de l'écorce ; on remarque une légère augmentation de carbone, ce qui doit être, vu la richesse en carbone un peu plus grande de la matière organique qui s'est houillifiée.

Pour le no 4, l'analyse a porté sur les racines et le tissu *parenchymateux* dans lequel elles descendent le long de la tige. Enfin, pour le no 6, sur la région de l'écorce formée d'hypoderme et de petites racines qui la traverse, on remarque là encore une légère augmentation du carbone, ce qui était à prévoir.

La composition élémentaire trouvée correspond à peu de chose près à celle de la houille prise dans la grande couche de Commentry.

	Carbone	*Hydrogène*	*Oxygène et azote*
Regnault. . . .	88,92	5,30	11,78
M. Carnot. . . .	83,21	5,57	11,22

Si la composition est presque la même, la manière dont la houille des divers fragments de végétaux se conduit à la distillation est assez différente.

En effet, les plantes déjà citées fournissent les résultats suivants :

	Matières volatiles	*Résidu fixe*	*Coke*
Calamodendron.	35,5	64,7	bien aggloméré
Cordaïte..	42,1	57,8	assez boursouflé
Lepidodendron..	34,7	55,3	bien aggloméré
Psaronius.	29,4	60,5	un peu boursouflé
Ptychopteris.	39,4	60,5	—
Mégaphyton.	35,5	64,5	bien aggloméré
Houille de la grande couche.	40,5	59,5	un peu boursouflé

Ces différences dans les proportions de substances volatiles, de résidus fixes et de densité dans le coke obtenu, sont en rapport avec la nature organique primitive des tissus houillifiés. On sait, en effet, que le bois des Calamodendrons est composé de bandes rayonnantes alternativement formées de tissu *ligneux* et de tissu *prosenchymateux* à parois résistantes et épaissies, tandis que le bois de Cordaïte, beaucoup moins dense, rappelle celui de certaines conifères actuelles (Araucariées).

Nous avons fait remarquer plus haut que les portions de Lépidodendron analysées appartenaient à la portion subéreuse de l'écorce fortement épaissie et lignifiée.

De même, la région du Megaphyton soumise à la distillation a été la partie extérieure de l'écorce dure formée de fibres hypodermiques et traversée par de petites racines.

Les psaronius, au contraire, étaient représentés

par le mélange de racines et de tissu cellulaire parenchymateux, dans lequel elles descendent, comme on sait, le long de la tige.

Il résulte de ces remarques que l'on peut admettre que les parties d'un végétal originairement dures, compactes, lignifiées profondément, ont fourni un coke aggloméré et relativement moins de matières volatiles, tandis que les tissus plus faiblement lignifiés ou parenchymateux ont donné un coke bulleux, plus ou moins boursouflé et une plus grande quantité de gaz.

L'influence du mode de groupement des éléments dans les tissus primitifs se retrouve donc, même après la houillification, et se manifeste par les différences notables dans les quantités et les propriétés physiques des produits de la distillation.

La composition chimique élémentaire, qui est sensiblement la même pour les échantillons choisis, isolés dans les grès argileux et pour ceux pris au sein même de la grande couche, démontre que la différence de composition du milieu servant de gangue n'a pas eu grande influence sur l'état définitif de la houille, conclusion à laquelle nous étions déjà arrivé en examinant la structure et les propriétés des galets de houille.

On peut se rendre compte de la composition à peu près semblable de la houille produite par des plantes ou des parties de plantes très différentes,

en remarquant que les cellules, les fibres et les vaisseaux, etc., étant formés de cellulose et de quelques-uns de ses isomères, sont arrivés plus ou moins *rapidement* à une sorte d'état définitif. La différence de composition porte surtout sur le contenu des cellules, canaux gommeux, etc..., tels que protoplasma, huiles, résines, amidon, gomme, sucres, acides variés, incrustations diverses.

Après l'action prolongée d'eaux plus ou moins minéralisées et celle d'organismes multiples, les matières solubles ou rendues solubles par la macération ont été enlevées complètement et le squelette organique des diverses plantes amené à une composition centésinale à peu près semblable, représentant les dérivés houillifiés de la cellulose, et de ses isomères ; les débris végétaux ainsi transformés, mais encore résistants et souples, ont été les uns pétrifiés dans les eaux minérales, ou recouverts isolément par les sables et les argiles, les autres entraînés à une certaine distance dans les parties plus profondes du bassin et réunis, ainsi que les détritus qui s'en détachaient, en masses plus ou moins considérables, puis recouverts par les sables et les argiles.

Sous l'influence d'une pression graduelle et d'une dessiccation lente amenée par cette pression même au milieu de couches poreuses et par l'exhaussement du sol, les parois des éléments organiques sont arrivées presque au contact, et

peu à peu les propriétés physiques de la houille ont apparu, sans l'intervention du métamorphisme[1].

Les végétaux, à ces époques reculées, renfermaient des appareils sécréteurs de gomme et de résine extrêmement nombreux. L'étude anatomique des pétioles de Myéloptéris et de la plupart des autres fougères, dont un grand nombre appartiennent à la famille des Marattïées, chez lesquelles les tissus sont encore actuellement gorgés de substances gommeuses, a montré une abondance remarquable d'organes de sécrétions.

Les tiges et les pétioles des Poroxylées, des Cycadoxylées, des Colpoxylon sont également extrêmement riches en organes de cette nature.

Les Sigillaires elles-mêmes, si nombreuses et si répandues dans toutes les couches du terrain houiller, ont dû sécréter des quantités notables de produits résinoïdes.

On connaît, en effet, les deux arcs latéraux qui comprennent sur les cicatrices foliaires des Sigillaires, comme dans une sorte de parenthèse, le faisceau foliaire central.

Dans le *Sigillaria spinulosa*, ces arcs ont à peine $1^{mm}\,2$ de hauteur et $0^{mm}\,5$ de largeur sur les

1. Les troncs isolés dans les grès ou les argiles qui leur servent de gangues sont parfaitement houillifiés, et la gangue ne présente aucune trace de métamorphisme.

jeunes tiges. Mais, en vieillissant, l'écorce de la plupart des Sigillaires atteignait des dimensions considérables dans tous les sens, les cicatrices laissées par la chute des feuilles disparaissaient, ainsi que la cicatricule du faisceau foliaire; toutefois, les deux arcs latéraux, non seulement ne subissaient pas le même sort, mais prenaient un développement en rapport avec celui de l'écorce dans laquelle ils étaient plongés.

L'écorce des Sigillaires prenait alors l'aspect bien connu des écorces désignées sous le nom de *Syringodendron*.

Dans cet accroissement, les arcs en question atteignaient une section 300 à 400 fois plus grande, en continuant à s'étendre dans toute l'épaisseur de la partie subéreuse de l'écorce.

Suivant leur longueur, ces organes sont parcourus par de nombreux canaux dirigés parallèlement les uns aux autres.

Ces canaux sont formés d'une gaîne de cellules à sections rectangulaires limitant un cylindre qui lui-même est composé de cellules plus petites contenant un résidu brun. Souvent, les cellules de l'axe du cylindre ont été détruites ou résorbées; il en résulte une sorte de tube continu. Ce sont les orifices ou les extrémités de ces canaux qui produisent les dépressions ponctiformes que l'on remarque à la surface des cicatrices.

On ne peut guère assigner à ces appareils, d'après

leur organisation, d'autre fonction que celle de sécréter, soit des matières gommeuses ou résineuses, soit du tannin, etc.; ce sont donc des appareils sécréteurs importants.

Nous n'avons aucune idée sur l'abondance des produits sécrétés, mais le nombre des appareils répartis sur l'écorce d'une seule Sigillaire étant énorme, on peut légitimement conclure que la quantité devait en être considérable.

On pourrait facilement citer d'autres exemples montrant que la plupart des plantes de la période houillère, favorisées par des conditions spéciales de température et d'humidité, étaient munies de nombreux appareils sécrétant des produits dont les uns venaient au dehors et dont les autres restaient confinés dans les tissus.

Les eaux provenant du lessivage prolongé de semblables végétaux, chargées de tous les principes solubles ou rendus solubles, gommes, gommes-résines, protoplasma, sucres, etc., etc., ont laissé, après une macération convenable, déposer ces résidus eux-mêmes houillifiés, devenus insolubles, et former *çà* et *là* des masses combustibles offrant une composition différente de celle résultant du squelette même des plantes, telles que le *Cannel-coal,* le *Pich-coal,* le *Boghead,* etc.

Des coupes minces faites dans le Cannel-coal de Commentry montrent que cette matière est composée d'une masse amorphe, jaune brun,

tenant épars en suspension des organes de plantes très divers, tels que fragments de feuilles. de Cordaïtes et de Fougères, des microspores, macrospores et grains de pollen, des radicelles, etc., exactement comme l'aurait fait une masse gélatineuse qui, en se coagulant dans un liquide, aurait entraîné avec elle tous les corps solides tombés ou entraînés accidentellement et qui se trouvent en suspension.

Nous donnons fig. 7 (gros. 200/1) une coupe de Cannel-coal de Commentry.

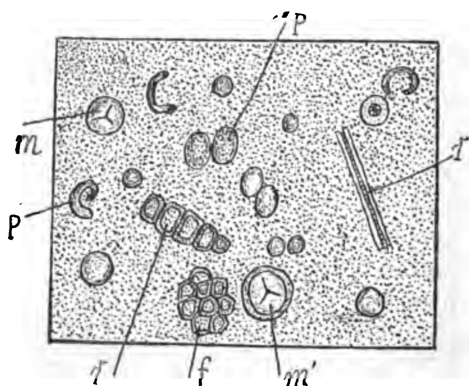


Fig. 7. — Coupe de cannel-coal de Commentry.

En *m* on distingue nettement une macrospore, en *p'* un fragment d'enveloppe d'une macrospore, en *m'* une autre macrospore possédant suivant son équateur une sorte de bourrelet, en *f* on reconnaît une coupe transversale d'un faisceau vasculaire, en *r'* une coupe longitudinale d'une radicelle par-

courue en son centre par un faisceau vasculaire extrêmement grêle, en *r* un faisceau vasculaire bi-centre presque complet, enfin en *p* quelques grains de pollen, rappelant par leur forme et leur dimension ceux que l'on rencontre dans les graines silicifiées de Saint-Etienne.

Le Cannel-coal se montre donc formé d'une sorte de gangue brun foncé d'aspect résinoïde, quand on le voit sous une faible épaisseur tenant en suspension des débris indéterminables noirs organiques et inorganiques, au milieu desquels on trouve un nombre plus ou moins considérable de débris d'organes végétaux faciles à reconnaître.

Il est évident (comme nous l'avons vérifié) que d'autres Cannel-coal peuvent présenter des organes de plantes différentes ou même n'en pas contenir, leur présence paraissant accidentelle. La composition elle-même du Cannel-coal doit être liée dans notre hypothèse à la nature chimique des matières d'où il dérive, dissoutes primitivement et devenues insolubles par la houillification.

Plusieurs préparations faites dans du Boghead d'Australie (Nouvelles-Galles du Sud), d'Autun montrent cette subtance comme formée d'une multitude de masses lenticulaires différentes de forme et de grandeur, beaucoup plus transparentes que les bandes qui les séparent, *b* fig. 8.

Dans l'intérieur de ces masses lenticulaires *d* on distingue des linéaments *c* très grêles rayonnant de quelques centres se dichotomisant plu-

sieurs fois de suite ; les ramifications viennent se perdre à la périphérie, au milieu de fines granulations qui ressemblent à des spores extrêmement grêles; on dirait avoir affaire à de nombreux myceliums moulés dans une résine peu colorée.

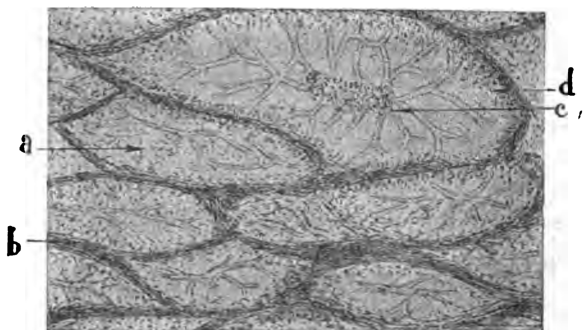


Fig. 8. — Coupe de Boghead.

Des préparations faites dans des Boghead de diverses localités ont présenté sensiblement le même aspect.

L'anthracite offre assez rarement des traces discernables d'organisation, car des préparations exécutées dans des fragments de ce combustible de Sablé, de Lamure, n'ont pu être réduites à une minceur suffisante pour devenir transparentes ; la masse est restée très opaque et les parties un peu plus claires n'ont présenté que des granulations irrégulières amorphes.

Cependant des fragments d'Anthracite provenant de Pensylvanie ont fourni, au milieu d'une masse dominante jaune-brun foncé sans structure, quelques débris organisés de végétaux, tels que fragments de faisceau vasculaire à éléments rayés, macrospores et grains de pollen.

Il paraît donc résulter de ce qui précède que dans l'anthracite les végétaux se trouvent dans un état de conservation beaucoup moins appréciable que dans la houille ordinaire et dans le Cannel-coal, et que ce n'est que rarement et par place qu'on peut y découvrir quelques débris reconnaissables, la houille y est plus voisine du carbone amorphe.

Si nous résumons en quelques lignes les conséquences qui découlent des faits que nous venons d'exposer, nous voyons que :

1° L'hypothèse d'éruption de bitume pour expliquer l'existence des immenses amas de houille doit être complètement rejetée.

2° Que la houille renfermant un nombre considérable de débris végétaux avec structure conservée et présentant sensiblement la même composition, il est plus naturel d'admettre que ce sont ces plantes et leurs produits qui par une altération spéciale ont formé les différentes variétés de ce combustible.

3° Qu'à l'époque de la formation du terrain carbonifère les altérations des matières végétales

ne les faisaient pas immédiatement passer à l'état de houille; puisque les galets de houille et les roches siliceuses nous ont conservé ces matières à des degrés divers d'altération.

4° Que cependant à cette époque plus qu'à toute autre, la macération et les organismes amenaient assez rapidement cette transformation, puisqu'un même bassin houiller de petite étendue pouvait contenir dans certaines parties, de la houille toute formée, tandis que dans d'autres elle était seulement en train de se déposer.

5° Que la houillification semble comprendre deux opérations, la première purement chimique, dans laquelle les tissus végétaux ou leurs produits offrent une composition variable de moins en moins riche en hydrogène et oxygène et de plus en plus riche en carbone; la seconde, purement mécanique, qui en desséchant et comprimant les produits houillifiés dans un milieu perméable lui fait acquérir les propriétés physiques que nous lui connaissons.

6° Que les propriétés chimiques et physiques de la houille dépendent de la nature chimique et physique des tissus végétaux d'où elle dérive, puisque nous avons vu des tissus végétaux dissemblables donner des houilles présentant dans leur composition de légers écarts et se conduire différemment à la distillation.

7° Que d'après l'étude anatomique des tissus

d'un très grand nombre de plantes houillères, ce sont les assises subéreuses et prosenchymateuses des écorces qui prennent surtout un développement considérable capable de fournir abondamment de la houille, et d'autre part que des appareils sécréteurs de gomme, de résines, etc., etc., y sont extrêmement nombreux et ont formé des produits dont la houillification a pu donner naissance soit à la houille amorphe, soit à celle que l'on désigne plus particulièrement sous les noms de Cannel-coal, Boghead, etc.

8° Que si la production de la houille s'est ralentie, puis a cessé dans les étages plus récents, cela tient d'une part à ce que la Flore a changé presque complètement, que les végétaux ont vécu moins nombreux sur le globe et que les conditions de milieu sont devenues de moins en moins favorables à la houillification de leurs tissus.

III. Conditions du dépôt des matériaux qui ont formé la houille

La houille se rencontre par bancs souvent assez réguliers en épaisseur, intercalés entre des couches de grès ou de schistes ; elle présente comme ces derniers tous les caractères d'un dépôt effectué au sein des eaux. Comme les grès elle est formée de débris de fragments, mais qui, au lieu d'être des

détritus de roches minérales, proviennent de la rupture, du déchirement d'organes végétaux; d'un côté comme de l'autre, ce sont des parties plus ou moins ténues ou plus ou moins volumineuses qui se sont agglomérées et ont formé des lits de puissance variable dont les éléments ont conservé les uns les caractères chimiques et minéralogiques des roches dont ils ont été détachés, les autres, les caractères anatomiques, parfois chimiques, des organes des plantes dont ils sont issus.

Cet état fragmentaire des organes végétaux trouvés dans la houille, leur proportion restreinte au milieu de la masse qui, au microscope, paraît une sorte de poussière végétale leur servant de gangue, indique que les végétaux ont été soumis à des frottements répétés assez énergiques avant leur enfouissement dans les grès ou les schistes.

On ne peut donc admettre que les couches de houille sont uniquement formées par l'accumulation sur place, des débris d'une végétation exceptionnelle s'étendant dans les lagunes, les marécages, les terres basses, etc., voisins de lacs ou de la mer, dont le sol, soumis à des abaissements et des relèvements successifs, aurait vu s'arrêter ou reprendre cette puissante végétation, dont les générations ensevelies seraient représentées par les lits épais de houille superposée.

Les fragments de bois et d'écorces de plantes trouvés dans la houille sont de très petites dimen-

sions, et si ces dernières avaient été houillifiées et enfouies là où on trouve leurs débris, il est certain que, au lieu de ces fragments réduits, ce seraient des troncs entiers, des branches avec leurs ramifications, des feuilles complètes, etc., qui en constitueraient la masse.

De plus, en tenant compte de la diminution de volume que les tissus végétaux éprouvent en passant à l'état de houille, plusieurs forêts de haute futaie enfouies successivement dans le même lieu, même en supposant qu'à leur pied ait poussé une masse de plantes herbacées, formeraient à peine une couche de houille compacte de quelques centimètres d'épaisseur. Les bancs puissants de charbon sont souvent séparés par des couches épaisses de grès ou de schistes; comme tous ces dépôts ont dû se former avec la lenteur habituelle des sédiments, on arrive à assigner, si on admet cette succession, une durée tout à fait extraordinaire à cette période.

C'est donc à une autre explication que l'on doit avoir recours[1]. M. Fayol a montré par des expériences directes que, si un cours d'eau plus ou moins important débouche dans une masse d'eau relativement considérable, les matériaux qu'il tient en suspension se séparent les uns des autres et se déposent en couches parfaitement distinctes.

Ainsi, en faisant charrier à un cours d'eau du

1. Voir de Lapparent, *Traité de géologie*.

gravier, du sable, de l'argile et des débris végétaux, ayant macéré quelque temps de façon à leur faire perdre leur trop grande légèreté, on observe le phénomène suivant : le cours d'eau, à son embouchure, perd rapidement de sa vitesse, il laisse déposer d'abord le gravier, plus loin le sable de plus en plus fin, plus loin encore l'argile ; enfin, là où la vitesse est devenue à peu près nulle, les débris végétaux se déposent à leur tour.

Si l'apport des matériaux que nous avons cités continue, il est clair que la couche plus ou moins épaisse de matière végétale, tout en continuant de s'étendre du côté opposé à l'embouchure du cours d'eau, sera recouverte de ce côté-là, au contraire, par les argiles et les sables fins qui ne cessent d'arriver. On aura donc, au bout d'un certain temps, un lit de matières végétales, accusant tous les accidents de surface du fond du bassin et recouvert par des argiles, des sables fins, eux-mêmes supportant vers l'entrée du cours d'eau les graviers de plus en plus volumineux.

En France, presque tous les bassins houillers disposés autour du plateau central ont la forme de cuvettes, et on peut imaginer facilement que ces cuvettes aient été occupées à l'époque de la houille par des lacs qui se sont comblés en partie par l'apport prolongé des matériaux arrachés aux contrées voisines.

Les torrents, les rivières, chargés de graviers, de

vase et de débris végétaux débouchant de divers côtés dans l'eau tranquille et profonde de ces lacs, abandonnaient, dans l'ordre que nous avons indiqué, les galets, les graviers en couches très inclinées près des bords, tandis que, plus loin, les grès fins, les argiles et les végétaux se déposaient en couches moins inclinées, souvent presque horizontales. La couche de combustible plus ou moins régulière recouverte en premier lieu sur les bords s'étendait en s'épaississant vers le centre, par des apports successifs. Cet accroissement étant dû à des crues consécutives, la houille des bords du bassin était plus anciennement formée que celle du centre.

L'arrivée des matières minérales et végétales étant simultanée, on comprend que la formation d'un bassin houiller ait pu être relativement assez rapide ; M. Fayol a calculé, qu'en évaluant à 200 hectares la surface du bassin de Commentry et à 7 milliards de mètres cubes le volume du lac houiller, 7,000 ans auraient suffi aux cours d'eau qui y débouchaient, pour le combler en grande partie, en supposant que ces cours d'eau eussent déversé par an un million de mètres cubes de troubles par an, soit onze fois moins que n'en charrie aujourd'hui la Durance.

En admettant que la houille ne forme dans ce même bassin que la 1/200 partie des matériaux, il suffirait, pour produire un demi-millimètre d'épais-

seur de ce combustible par an, une superficie de 5,000 hectares de forêts, c'est-à-dire 25 fois plus grande.

Or, ces chiffres sont des minima, si l'on tient compte, d'une part, de la puissance des torrents plus grande à l'époque houillère que de nos jours, et de la vigueur de la végétation qui dépassait certainement celle des régions tropicales actuelles. La formation de chacun des petits bassins, en particulier, a donc pu s'effectuer dans un temps beaucoup plus court.

La sélection dont nous avons parlé plus haut, et qui séparait les matières minérales et végétales par ordre de densité, pouvait intervenir également dans le dépôt des matières organiques ; les portions les plus volumineuses, telles que troncs, branches, frondes, etc., entraînées moins loin que les petits débris et la poussière organique, n'arrivaient pas jusqu'à la couche formée par eux, mais se déposaient en même temps que les grès fins et que les argiles ; ce sont eux que nous retrouvons à l'état d'empreintes.

La présence de certains troncs *debout* dans les couches de grès ou de schistes, formées en même temps que la couche de combustible, ne prouve donc pas qu'ils sont à la place où ils ont poussé, mais seulement qu'ils se sont déposés dans cette position lors de leur charriage par les eaux ; ils sont, du reste, très souvent accompagnés à Com-

mentry d'autres troncs, les uns inclinés, les autres complètement couchés.

Ce n'est pas à dire pour cela qu'il n'existe pas de forêts houillères dont le sol renferme encore en place des portions de troncs enracinés, mais ces troncs ne pénètrent jamais dans la couche de combustible, et ils n'ont pas concouru à la former. Par un phénomène d'affaissement, assez fréquent, du reste, le terrain où ils ont vécu a été recouvert par les eaux, et le lac dont ce terrain était devenu le fond a été le siège de dépôts analogues à ceux que nous avons cités.

M. Fayol a cherché à appliquer sa théorie du charriage aux grands gisements houillers marins du nord de l'Europe.

Dans ces gisements, les couches de houille sont généralement moins épaisses, plus régulières ; étendues sur un espace beaucoup plus considérable, la structure organique y est beaucoup moins reconnaissable, les lits à fossiles marins sont subordonnés aux roches qui encaissent la houille, les schistes qui accompagnent la houille renferment de nombreuses empreintes de plantes terrestres.

Ces différentes particularités s'expliquent facilement, d'après M. Fayol, si l'on admet que de grands cours d'eau aient débouché dans de profonds estuaires, en y apportant des alluvions mélangées de débris végétaux. Ceux-ci, charriés à

une distance plus grande de leur lieu d'origine que les débris des bassins moins étendus et lacustres de l'intérieur, devaient arriver en général à l'état de fragments plus petits, dès lors d'autant plus difficiles à reconnaître après la houillification.

Le balancement de la vague les obligeait à s'étaler davantage et à former des couches plus régulières. Les déplacements du courant principal amenant les détritus organiques, en faisant varier la position des alluvions superposées, devaient avoir pour résultat le retour momentané, en certains points, du régime marin avec dépôt de calcaire ou d'ampélites fossilifères.

Si les débris organiques enfouis sous des couches épaisses d'argiles et de sables, à l'abri de l'action de l'air, ne subissent plus, quand ils sont suffisamment comprimés, d'altération ultérieure sensible, comme nous l'avons conclu de l'examen des galets de houille, et de l'état de houillification plus ou moins avancé que présentent les fossiles végétaux contenus dans certaines couches de schistes des bassins de Commentry, de Blanzy, d'Autun, etc..., l'hypothèse de M. Fayol a besoin, pour se compléter, de celle de M. Grand'Eury, hypothèse que nous admettons et qui consiste à supposer que les différents débris organiques ont dû subir une altération préalable plus ou moins complète avant leur enfouissement.

Dans l'hypothèse du transport des plantes par

les cours d'eau dans des lacs ou dans des estuaires, et de leur enfouissement presque immédiat au-dessous de couches épaisses de sédiments, il est impossible que ces végétaux aient eu le temps de se modifier et de s'altérer de façon à présenter la composition chimique de la houille.

L'étendue des lacs houillers et celui des estuaires ne permettent pas, du reste, d'admettre que, quand même il se serait écoulé quelque temps entre l'arrivée des matières organiques et leur enfouissement, les conditions d'altération provoquées par la macération, et surtout par les organismes inférieurs, eussent pu être réunies dans des masses d'eau aussi considérables.

De plus, la boue organique houillifiée qui constitue la plus grande partie du combustible prouve que les végétaux ou leurs fragments ont été soumis à des froissements répétés.

Si l'on admet que la plupart des cours d'eau de l'époque houillère formaient des delta à leur embouchure dans les lacs ou dans les mers, ces delta devaient être parsemés, comme ceux de nos jours, de nombreux étangs et de marécages; les terres qui les précédaient étaient elles-mêmes basses et humides; la température aidant, une végétation spéciale extrêmement puissante en couvrait toute l'étendue.

Non seulement les terres émergées étaient occupées par des buissons de Sphenophyllun, par des

fougères arborescentes, des Calamodendrées, des Cordaïtes, etc., mais les eaux assez peu profondes étaient envahies de tout côté par les *rhizomes* des Lépidodendrons et des Sigillaires, par ceux des Astérophillites, des Annularia et des Calamites, etc.

La végétation aquatique, aussi bien que la végétation aérienne, concourait à accumuler des débris de plantes dans ces étangs et dans ces lagunes.

Soumis dans des masses d'eau relativement peu considérables à une macération prolongée, les débris des plantes mortes se transformaient peu à peu et atteignaient assez rapidement la composition chimique des diverses espèces de houille. Les organes végétaux gardaient leur forme, presque leurs dimensions, tout en perdant une proportion notable d'oxygène et d'hydrogène ; leur consistance, leur solidité étaient diminuées, mais ils conservaient une certaine flexibilité et une certaine souplesse.

Dans ces conditions, les delta qui éprouvaient des affaissements et des soulèvements lents, successifs, ont pu se recouvrir de couches de houille et d'argiles superposés, et conserver en place un certain nombre de végétaux enracinés plus ou moins complets.

Dans d'autres cas, les delta, restant immobiles, ont été plus ou moins dégradés par les crues des cours d'eau auxquels ils devaient leur origine, et les étangs, les lagunes, les marécages débarrassés

en partie, à chaque inondation, des végétaux altérés qui s'y étaient accumulés.

Ces débris encore flexibles, mais présentant une certaine fragilité, ont été entraînés par les eaux, en même temps que les menus fragments qui s'y trouvaient. On conçoit facilement que le frottement de ces plantes, qui présentaient alors assez peu de ténacité contre les graviers et les sables, ait donné naissance à une sorte de boue végétale d'autant plus abondante que le contact a été plus prolongé.

Charriés dans les lacs ou les estuaires, le phénomène de séparation mécanique dont nous avons parlé plus haut s'est effectué et, sous une déshydratation lente et une compression prolongée, les propriétés physiques de la houille se sont peu à peu développées.

Dans le chapitre suivant nous aborderons l'étude de quelques plantes qui ont concouru à la formation de la houille. Nous commencerons par la Classe des Calamariées, groupant plusieurs Familles, telles que les Equisétacées, les Annulariées, Astérophyllitées, etc.

La famille des Equisétacées renferme, entre autres, un genre remarquable, le genre *Equisetum* qui se montre dès la période houillère et se continue jusqu'à notre époque ; les Prêles, si communes dans les lieux humides, dans les terrains sans culture, sont les représentants actuels de cette famille.

CHAPITRE IV

ÉTUDE DE QUELQUES TYPES PERSISTANTS OU AYANT DISPARU

I. Classe des Calamariées

1° FAMILLE DES ÉQUISÉTACÉES [1].

Genre Equisetum.

Le genre *Equisetum* est le seul genre qui représente actuellement la famille des Equisétacées, si nombreuse et si diversifiée aux époques anciennes.

Les Prêles se reconnaissent aisément à leur tige droite et raide, cannelée en long, formée d'un grand nombre d'articles emboîtés les uns dans les autres. A chaque articulation on aperçoit les feuilles, formant de petites lames vertes ou brunes, soudées ensembles de façon à former une collerette autour de la tige. Les rameaux, quand

1. De *equus*, cheval, et *seta*, crin, à cause de la disposition en touffe des rameaux filiformes présentant l'aspect d'une queue de cheval.

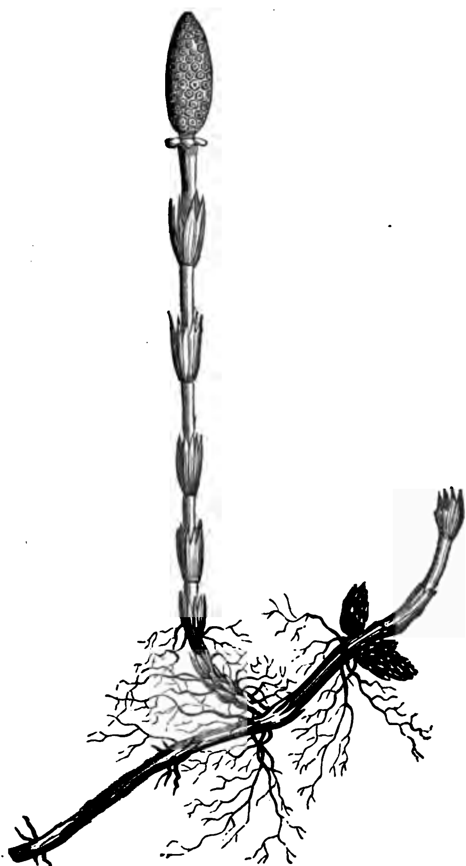


Fig. 9. — *Equisetum arvense* muni de son rhizome et de sa fructification en forme d'épi.

ils existent, naissent par verticilles au niveau des articulations et proviennent de bourgeons latéraux endogènes verticillés placés au milieu de l'intervalle qui sépare deux lames foliaires voisines; ils ont exactement l'organisation de la tige qui les porte.

Dans le tissu des Prêles, c'est principalement le système tégumentaire qui se diversifie le plus.

Les faisceaux vasculaires sont grêles, et leurs trachéides ne se lignifient que très peu, comme cela arrive dans les plantes aquatiques et poussant dans les marécages.

La solidité de la tige est due au système tégumentaire, dont l'épiderme est très développé et durci par des incrustations siliceuses, et en même temps à la présence de cellules hypodermiques assez nombreuses, formant une couche de sclérenchyme continu à parois brunes dans les rhizomes, et des bandes fortement développées et incolores le long des cannelures de la tige.

Les cannelures qui sillonnent extérieurement la tige alternent d'un entre-nœud à l'autre.

Le tige peut être comparée à deux cylindres creux intimement juxtaposés; l'un est extérieur et forme l'écorce, l'autre est intérieur et constitue le cylindre ligneux; la ligne de démarcation des deux cylindres est l'*endoderme*.

Dans une coupe transversale de la tige on reconnaît facilement deux systèmes de lacunes, l'un cortical, l'autre appartenant au système ligneux.

Les lacunes corticales correspondent aux sillons de la tige, elles naissent dans le tissu fondamental par disjonction et en partie par destruction des cellules ; elles peuvent manquer dans les jeunes rameaux.

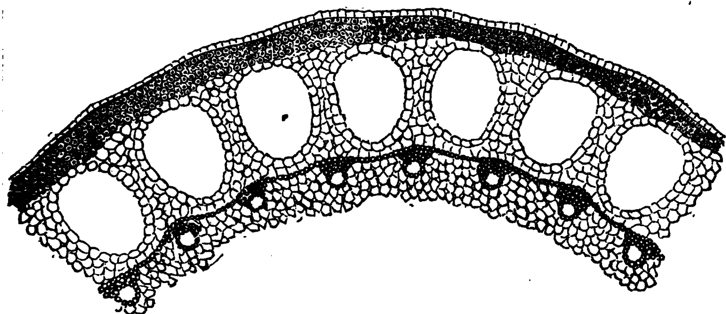


Fig. 10. — Coupe transversale grossie d'une portion de tige d'*Equisetum eburneum* montrant le vide central provenant de la disparition de la moelle, les deux cylindres de la tige et leurs lacunes respectives.

Les lacunes centrales dépendent du système ligneux, elles ne manquent jamais dans l'intervalle de deux nœuds ; on leur a donné le nom de lacunes essentielles, elles alternent avec les premières.

Les faisceaux vasculaires, toujours très grêles, bordent extérieurement les lacunes ; ils sont disposés en cercle et correspondent chacun à une des côtes saillantes de l'écorce, ils sont tous parallèles entre eux dans le sens vertical.

Chaque faisceau est formé de deux bandes distinctes faisant entre elles un certain angle et convergent vers la lacune essentielle; les extrémités internes de ces bandes sont formées d'éléments annelés et spiralés, se détruisent promptement en même temps que les cellules à parois minces et molles qui les séparent, et il se forme à leur place cette lacune longitudinale.

En dehors de la lacune et dans l'angle formé par les deux bandes vasculaires divergentes, dont les extrémités extérieures persistent et ne forment pas de lacunes, se trouvent des éléments à minces parois, plus en dehors du parenchyme libérien entremêlé de cellules et de tubes grillagés, enfin des cellules étroites à parois épaisses analogues à des fibres libériennes.

Le faisceau tout entier est entouré par un tissu parenchymateux et d'une gaîne protectrice; quelquefois, cette dernière enveloppe l'ensemble des faisceaux de la tige.

Toute branche de Prêle consiste en une série d'articles creux et terminés par une cloison transversale; chaque article se prolonge par la gaîne foliaire dont nous avons parlé et qui embrasse l'entre-nœud supérieur; celle-ci se divise sur ses bords en un nombre de dents égal à celui des lames foliaires qui constituent la gaîne, à chaque dent aboutit un faisceau vasculaire, lequel, après avoir parcouru la gaîne longitudinalement, pénètre

dans l'intérieur de la tige et vient aboutir au cylindre ligneux. Les saillies des nervures de la gaîne sont en continuation avec les cannelures de l'article dont elle est le prolongement et alternent avec les cannelures de l'article qu'elle enveloppe.

Sur une coupe longitudinale tangentielle passant à la surface du cylindre ligneux, les faisceaux vasculaires composés, ainsi que nous l'avons dit, de deux bandes distinctes, se montrent disposés parallèlement dans toute la longueur des entre-nœuds; à l'articulation chaque faisceau se bifurque, les bandes de bifurcation de deux faisceaux voisins se réunissent et donnent naissance à un système de faisceaux exactement disposés comme le précédent, mais alternants et qui parcourent le nouvel entre-nœud. La même organisation se retrouve sur toute la longueur de la tige, des rameaux et des rhizomes.

Nous avons dit précédemment que les rameaux sont fixés aux nœuds et proviennent exclusivement de bourgeons endogènes ; ces bourgeons naissent à l'intérieur du tissu des plus jeunes bourrelets foliaires, longtemps avant la différenciation des faisceaux vasculaires et dans l'angle qui sépare deux dents consécutives de la jeune gaîne; par conséquent, ils sont alternes avec les cordons foliaires qui se dirigent dans ces dents.

Ce n'est qu'après que le sommet de la plante s'est entouré de plusieurs gaînes foliaires que les

bourgeons endogènes se développent et percent la base de la gaîne qui leur correspond ; ils peuvent quelquefois rester à l'état expectant pendant longtemps, ou ne pas se développer du tout. Il se forme toujours autant de bourgeons endogènes qu'il y a de dents à la gaîne foliaire correspondante ; on doit donc supposer que les branches ne se développent au dehors de la tige que plus tard, ou que, dans certaines conditions, leurs bourgeons sont restés à l'état de repos dans l'intérieur du tissu de la tige.

Les racines naissent en verticille, immédiatement au-dessous du bourgeon, et en même nombre ; de même que, pour ces derniers, il arrive qu'elles ne se développent pas nécessairement, elles peuvent rester à l'état latent dans l'intérieur de la tige ou du rhizome.

Les fructifications des Prêles sont en forme d'épis ; ils sont placés, soit à l'extrémité des branches ordinaires, soit des branches transformées dans ce but ; au-dessus de la dernière gaîne stérile, on voit une gaîne foliaire imparfaite (ou anneau) et, plus haut, une série de verticilles alternes contigus de bractées en forme d'écussons que leur pression mutuelle a rendu hexagonaux ; chaque bractée est supportée par un pédicelle fixé perpendiculairement à l'axe, et à sa face interne se trouvent disposés cinq à dix sporanges, s'ouvrant par une fente tournée du côté du pédicelle.

Les spores nombreuses sont pourvues d'élatères hygroscopiques, elles ne sont que d'une seule espèce. Le prothalle étalé au-dessus du sol est vert, monoïque ou dioïque.



Fig. 11. — Equisetum palustre.

Les Prêles, outre le moyen de propagation dû à la germination des spores, se maintiennent et se

propagent dans les sols humides, siliceux ou argileux, au moyen de rhizomes construits sur le même plan que les tiges, qui s'étendent et se ramifient dans le sol, souvent à plusieurs mètres de profondeur; de la surface de ces rhizomes aux articulations s'élèvent de nombreuses tiges aériennes, dont quelques-unes, E. *giganteum*, E. *Martii*, peuvent atteindre jusqu'à 8 à 9 mètres de hauteur et deux à trois centimètres de diamètre.

La plupart des Equisétacées fossiles ont eu des dimensions bien plus considérables, sinon en hauteur, aû moins suivant leur diamètre, qui a pu dépasser trente centimètres dans certaines espèces.

La famille des Prêles est représentée, comme nous l'avons fait remarquer, aujourd'hui par le seul genre *Equisetum*. A toutes les époques elle a renfermé de nombreuses espèces; parmi celles-ci, nous ne citerons que quelques-unes choisies dans l'ordre de leur ancienneté.

Equisitum Braunii. Unger (Rhizome).

Ce sont des tiges de 6 millimètres de diamètre, légèrement striées, ayant des entre-nœuds de longueur inégale, des gaînes courtes serrées contre la tige; les dents de la gaîne sont peu développées; après leur chute, elles laissent sur ses bords des crénelures obtuses. Les articulations des rhizomes sont courtes. Cet *equisetum* ressemble par ses

dimensions et la longueur de la gaîne à l'*Equisetum hyemale,* mais ses feuilles sont moins nombreuses.

On rencontre cette espèce dans les marnes d'Oeningen, de Parschlung en Styrie qui appartiennent à la formation miocène.

Equisetum Parlatorii (Unger) Sch. (Rhizome et tubercule).

Rhizomes mesurant 13 à 15 millimètres, articulations distantes de 10 à 12 centimètres; sulcatures peu nombreuses. Les rameaux, qui partent des rhizomes atteignent 8 à 15 millimètres.

Les tubercules sont disposés en chapelet et verticillés, piriformes, oblongs allongés et marqués de sillons. Ces rhizomes se distinguent des rhizomes tuberculifères des *Equisetum* vivants par l'absence de racines et de gaînes aux articulations; ils devaient être aquatiques et ont été enfouis dans la vase, sur les lieux mêmes où ils se sont développés.

Cette espèce se trouve dans les marnes tertiaires de Monod et de Jouxtens, canton de Vaud, à Kapfenstein (Styrie).

Equisetum Lyelli. Mantel.

Tige aérienne, cylindrique, ramifiée. La distance

des articulations est de deux centimètres, son diamètre est de dix à douze millimètres, celui des rameaux de 5. Les gaînes atteignent 1 centimètre de longueur, elles sont terminées par des dents linéaires, subulées, aiguës et persistantes.

On la rencontre dans le Wealdien de Pouncefort, Tunbridge Wells (Sussex) ; elle est comparable par ses dimensions aux grands échantillons de l'E. *Telmateja*.

Equisetum Buchardti. Dunker.

Tige ramifiée de trois millimètres de diamètre, striées longitudinales très visibles. Les gaînes atteignent 4 à 5 millimètres de longueur, sont terminées par des dents lancéolées, aiguës, persistantes. Les entre-nœuds ont 15 millimètres en moyenne de hauteur. Les rameaux sont grêles et les gaînes dont ils sont pourvus se divisent profondément en trois dents. Le rhizome porte des tubercules ovales disposés en chapelet.

Cette espèce atteint plus de 60 centimètres de hauteur et se trouve encore en place dans certaines localités, traversant perpendiculairement les couches de grès ; elle ressemblerait, d'après Schimper, à l'*Equisetum ramosissimum* vivant.

Elle se rencontre dans le crétacé inférieur.

Equisetum bunburyanum. Zigno.

Tiges ramifiées, épaisses de 4 à 12 millimètres,

articulations éloignées (2 à 4 centimètres), sillons distants et au nombre de 8 à 10, gaînes rapprochées de la tige, longues de 4 à 6 millimètres et formées par la soudure des feuilles terminées par des dents courtes et aiguës.

Cette espèce rappelle les grandes Prêles du Pérou, l'*Equisetum xylochocton* Met. par exemple.

Elle se rencontre dans l'étage bathonien de la montagne Pernigotti de Tanara, à Raut, dans le Véronais.

Equisetum Columnare. Brongt.

Tiges atteignant 6 centimètres et plus de diamètre, marquées de sillons au-dessous des gaînes, mais peu visibles ailleurs.

Les entre-nœuds inférieurs ont 2 centimètres de long, ceux de la partie supérieure dépassent 10 centimètres. Les gaînes appliquées contre la tige sont terminées par environ 60 dents linéaires planes, larges de 2^{mm} 5 et longues de 15 millimètres, séparées par un sillon creusé en forme de carène et terminées brusquement en pointe subulée, droite ou recourbée.

Dans les schistes arénacés de la grande Oölithe, à Hagburne-Wike et Whitby, sur la côte du Yorkshire (Angleterre).

Equisetum Pellati. Sap.

Tiges robustes de 1 à 2 centimètres de diamètre,

marquées dans les entre-nœuds de 20 à 26 sillons, gaîne terminée par 20 à 26 dents; sans la longueur des dents, les gaînes mesurent 15 millimètres de hauteur. Les dents sont solides, petites, triangulaires, terminées en pointe scarieuse; un sillon assez développé part de chaque dent et va jusqu'à la base; de chaque côté il est bordé par une carène. Les commissures des feuilles sont peu marquées.

Cette espèce se rencontre dans les grès triasiques d'Antully à l'est d'Autun.

Equisetum arenaceum (Jaeg.). Bronn.

Rhizome très développé, variant de 8 à 14 centimètres, articulations rapprochées, portant des tubercules ovoïdes, sessiles ou légèrement pédicellés, marqués de sillons à leur base, longs de 6 à 8 centimètres et larges de 5 à 7.

La tige mesure de 4 à 12 centimètres, porte des rameaux verticillés à la partie supérieure, dont les entre-nœuds, plus longs que les inférieurs, atteignent 15 à 18 centimètres de longueur. Les rameaux sont grêles, leur diamètre oscille entre 10 et 15 millimètres, ils sont stries. Les gaînes sont lârgement développées; on peut compter, dans les grosses tiges, de 110 à 120 feuilles, linéaires, épaisses, parcourues par une côte plane, se rétrécissant peu à peu en une dent lancéolée aiguë, dont les côtés sont garnis par une production

membraneuse dont les contours s'atténuent et se creusent en carène.

Les sillons qui séparent les feuilles se prolongent sur l'écorce de la tige au-dessous de l'articulation. Les épis sont ovoïdes, de 25 millimètres environ de longueur et de 3 à 4 de largeur.

Cette espèce se rencontre dans les étages inférieurs et moyens des marnes irisées, près de Würzburg, de Schweinfurt, en Franconie, près de Ballbronn (Bas-Rhin), Moyen-Vic (Meurthe), Corcelles (Haute-Saône), etc. On en possède toutes les parties, rhizome, tige, rameaux, tubercules, épis fructifères.

D'après Schimper, qui a fait une étude approfondie de cette espèce, en tenant compte des gaînes emboîtées les unes dans les autres, dans les bourgeons bien conservés et du développement moyen des entre-nœuds, on peut admettre que ces Prêles atteignaient une hauteur de 8 à 10 mètres!

La tige n'émettait des rameaux qu'à la partie supérieure ; ils étaient verticillés simples et terminés la plupart par des épis. Le tronc était probablement cylindrique jusqu'à la hauteur où naissaient les rameaux, puis s'amincissait insensiblement pour se terminer en bourgeon.

Les feuilles se prolongeaient en une dent lancéolée de deux centimètres égalant la longueur de la gaîne ; celle-ci se détachait facilement ; il n'est pas rare de la rencontrer isolée.

La surface était marquée de sillons longitudinaux de la même largeur que celle des feuilles qui constituaient la gaîne ; elle était séparée du cylindre ligneux *calamitoïde* central par une couche de parenchyme épaisse renfermant probablement des lacunes aériennes.

Il arrive souvent que les empreintes ont conservé le moule du cylindre ligneux équisétiforme intérieur, qui se montre alors sous la forme de sillons rapprochés, distants à peine de 1 millimètre, s'anastomosant nettement de distance en distance aux articulations, et sur ce premier moulage de la partie interne, on distingue celui plus extérieur de la surface avec ses cannelures plus larges, qui, lors de l'aplatissement de la tige sous le poids des couches de sédiments, est venue recouvrir le premier, tout le tissu parenchymateux intermédiaire ayant disparu pendant la macération. On se rend facilement compte de la rapidité avec laquelle ce tissu peut disparaître, en maintenant pendant quelques semaines des tiges de Prêles dans de l'eau maintenue à 20° ou 25° et non renouvelée ; il ne reste plus au bout de ce temps que les faisceaux vasculaires, les bandes sclérifiées du liber et l'épiderme avec son hypoderme ; tous les tissus mous ont disparu et les portions de tiges sont devenues assez transparentes pour être montées en préparation et étudiées au microscope.

Aucune trace de houille appréciable n'existe sur

les empreintes laissées par ces énormes Prêles triasiques comparables par leurs dimensions aux plus grandes Calamites de l'époque houillère ; on ne peut attribuer cette particularité à la nature des sédiments dans lesquels elles ont été enfouies, mais bien plutôt à ce que leur écorce, quoique très développée, était constituée comme celle des *Equisetum* actuels, c'est-à-dire d'éléments mous parenchymateux, et que le cylindre, ligneux comme celui des calamites, est toujours resté à l'état rudimentaire.

On sait, en effet, que les trachéides ligneuses, les tissus dans lesquels pouvaient s'accumuler les résines, la gomme, l'amidon, le liège, les cellules hypodermiques, les cuticules, etc..., sont presque uniquement les éléments des végétaux qui ont pu sur place donner naissance à des quantités considérables de ce combustible.

Equisetum Monyi. Ren. et Zeiller.

Cet *Equisetum* est comparable par sa taille aux espèces géantes des époques secondaires.

La tige, large de 35 millimètres, est articulée ; les articles ont une longueur qui varie suivant leur position sur la tige ; à la base, ils mesurent 7 millimètres ; un peu plus haut, ils n'ont plus que 5 millimètres ; plus haut encore, ils atteignent 9 à 10 millimètres.

A chaque nœud se trouve une gaîne courte,

munie de dents aiguës appliquées contre la tige; les feuilles qui forment la gaîne sont au nombre de vingt-huit à trente, elles ne sont soudées que sur deux à trois millimètres de hauteur; leur partie libre varie, suivant la longueur des articles eux-mêmes, entre 5 et 7 millimètres de longueur; à la base elle mesure 2 millimètres et elle va en s'atténuant et se termine en pointe aiguë. Quelques-unes de ces dents sont munies sur le dos d'un sillon peu profond, large de 1/2 millimètre compris entre deux lignes légèrement saillantes, ainsi que cela a lieu chez plusieurs Equisetum vivants.

Souvent elles ont été déviées de leur position verticale primitive et sont rejetées plus ou moins de côté.

La surface de la tige est en grande partie masquée par les gaînes et par leurs dentelures; cependant on la discerne assez nettement sur quelques points, où elle est conservée sous forme de lame charbonneuse extrêmement mince, et l'on peut constater l'existence de côtes presque plates très faiblement accentuées; ces côtes correspondent aux faisceaux vasculaires de la tige; on les voit se bifurquer à chaque articulation et les branches qui en résultent se mettre en relation avec les côtes alternantes de l'entre-nœud suivant. De plus, chacune des côtes envoie à son extrémité supérieure un faisceau vasculaire dans la dent de la gaîne qui se trouve en prolongement direct avec elle.

On ne distingue à la base des gaînes aucune cicatrice indiquant la présence de rameaux ou de racines ; les tiges étaient donc nues sur une partie au moins de leur longueur.

La très faible épaisseur de houille laissée par les tissus de la tige indique qu'elle était largement fistuleuse et que ces tissus ne se lignifiaient que très peu.

L'*Equisetum Monyi* présente une certaine analogie avec l'*Hippurites gigantea* de Lindley et Hutton (*Equisetites giganteus* Schimp.) du terrain houiller moyen d'Angleterre ; mais, chez celui-ci, les dents des gaînes, plus séparées les unes des autres, sont beaucoup plus grandes et atteignent jusqu'à 20 millimètres, les articles mesurent 50 millimètres de longueur ; enfin la tige, deux ou trois fois plus grosse, présente une surface entièrement lisse, caractère qui a fait hésiter les auteurs anglais à rapprocher leur plante des *Equisetum* auxquels ils la comparent néanmoins.

Nous croyons que cette espèce, vu sa ressemblance avec celle de Commentry, devra rentrer, quand sa connaissance sera plus complète, dans le genre *Equisetum,* ce qui reculerait jusqu'au terrain houiller moyen la première apparition de ce genre sous la forme gigantesque qui caractérise un si grand nombre de ses représentants de l'époque secondaire.

L'*Equisetum Monyi* n'a été rencontré jusqu'ici que dans le terrain houiller de Commentry.

On le voit d'après la description des espèces d'*Equisetum* que nous avons choisies dans les couches de terrains de plus en plus anciennes, le type du genre n'a pas sensiblement varié depuis les époques les plus reculées jusqu'à nos jours. Malgré les dimensions énormes des Prêles triasiques et houillères, la ramification a gardé la même allure; tantôt certaines espèces étaient abondamment ramifiées, tantôt la tige restait nue, comme il arrive parmi les Prêles vivantes. La Gaîne, dans sa composition, montre également une constance remarquable, et le cylindre ligneux, qui dans certaines espèces arborescentes aurait dû, semble-t-il, prendre un accroissement notable, est toujours resté chétif sans production de bois secondaire.

Un genre voisin du genre *Equisetum* par la plupart de ses caractères, est le genre *Calamite,* qui est resté confiné dans les premières assises sédimentaires du globe et n'a laissé aucune trace dans les terrains supérieurs aux terrains primaires. Nous décrirons quelques espèces de ce genre.

Genre Calamite [1].

Les végétaux rangés dans ce genre ont des

1. Le nom de Calamite vient de *Calamus,* qui signifie ro-

tiges articulées, fistuleuses, cloisonnées. La couche de houille qu'elles ont laissée est très mince, comme celle des Equisetum que nous avons étudiés ; l'enveloppe charbonneuse repose sur un noyau articulé, qui est le moule du système ligneux équisétiforme ; les côtes alternent aux articulations et portent souvent en haut des articulations et quelquefois en bas de petits mamelons ronds ou ovales. Fig. 12.

La surface de l'écorce paraît moins nettement articulée et sillonnée que le moule interne, ce qui s'explique par l'interposition de la couche plus ou moins épaisse de parenchyme cortical qui la séparait de l'intérieur.

Les cicatrices raméales, quelquefois très visibles, sont placées aux articulations et l'on voit les côtes, plus ou moins divisées, partir en rayonnant du contour des cicatrices. Les petits mamelons placés à la partie supérieure ou à la partie inférieure des côtes ne laissent voir aucune cicatrice vasculaire.

La partie inférieure des tiges va en s'atténuant en pointe plus ou moins recourbée, et s'insérait sur un rhizome souterrain également articulé ; des radicelles plus ou moins nombreuses verticillées partent des articulations.

seau, à cause des nœuds espacés sur la tige dans les calamites comme dans les roseaux.

L'intérieur des tiges encore debout est garni d'une sorte d'épiderme interne isolé, souvent dérangé de sa position naturelle. Des diaphragmes sont tendus horizontalement aux articulations.

Le genre *Calamite* se distingue du genre *Equisetum* par l'absence complète de gaîne aux articulations des tiges aériennes, des rhizomes et des rameaux.

Calamites Suckowi. Brongt. Fig. 12.

Tiges le plus souvent comprimées, variant de 10 à 12 centimètres.

Les entre-nœuds inférieurs ont 3 à 6 centimètres de long, ceux de la partie supérieure atteignent de 6 à 20 centimètres. Les côtes sont plates, larges de 1^{mm}, 5 à 2^{mm}, alternant d'un entre-nœud à l'autre; les sillons qui les séparent ont à peine 0^{mm}, 5 de largeur; sur le moule interne ils sont limités par deux stries très nettes courant le long des côtes, qui sont la trace des deux bandes vasculaires qui constituent le faisceau ligneux, correspondant au bois dont nous avons parlé à propos de la tige des *Equisetum*.

Les mamelons placés à l'angle supérieur un peu arrondi des côtes sont circulaires, peu saillants, mais bien limités; ceux qui se trouvent à leur base sont un peu allongés, mais moins marqués.

Cette espèce est répandue dans tout le terrain houiller moyen et supérieur, on la trouve à Vicoi-

gne, Denain, Aniche, Mons, Rive-de-Gier, Saint-Chamond, le Treuil (Loire), La Mure (Isère), Bessège, La Grand-Combe (Gard), Carmaux (Tarn), Epinac, Autun, Blanzy (Saône-et-Loire).

Les tiges, renflées à une certaine distance de leur origine, s'amincissaient lentement en se recourbant plus ou moins, pour venir s'attacher au rhizome; les articulations, rapprochées à la base, s'éloignent dans la partie supérieure. M. Grand'-Eury a trouvé à Saint-Etienne des tiges verticales qui, après leur envasement, avaient donné naissance à plusieurs tiges secondaires. Celles-ci, après avoir augmenté peu à peu de diamètre, se redressaient verticalement.

D'autres fois les tiges se montrent insérées aux articulations de rhizomes horizontaux encore en place. Ces rhizomes, plus étroits, moins fermes, n'ont pas les articulations aussi nettes, ni les côtes aussi visibles que les tiges; des racines assez nombreuses sont insérées aux nœuds.

Cette espèce de Calamite présente donc des rhizomes définis, traçants, émettant des tiges qui deviennent aériennes, susceptibles elles-mêmes de fournir de nouvelles tiges partant des articulations qui ont été enterrées; ce mode de végétation offre la plus grande analogie avec celui des Prêles actuelles.

Les radicelles, complètement désorganisées à l'intérieur, ne sont plus représentées que par une

mince pellicule de houille laissée par l'épiderme et qui a pris la forme d'un ruban. Vers le milieu on remarque la trace très grêle, sinueuse, d'un faisceau vasculaire central; elles ont de 5 à 15^{mm} de largeur, leur longueur est de 10 à 30 centimètres.

La pellicule charbonneuse due seulement à l'épiderme est formée de mailles rectangulaires, disposées par files longitudinales assez régulières, qui représentent les cuticules épaissies des cellules épidermiques; lorsque nous étudierons plus loin les racines du *Calamodendron striatum* silicifiées, nous retrouverons des racines d'aspect extérieur tout à fait analogue, mais s'en distinguant facilement par les traces du cylindre ligneux central, bien plus apparentes à cause du développement du bois secondaire.

Les radicelles sont simples ou rameuses, sortent des rhizomes et de la partie inférieure des tiges; elles s'étendent à peu près horizontalement et assez loin, quand elles partent des rhizomes; autour des tiges, elles s'échappent en rayonnant, elles sont insérées sur les saillies un peu allongées ou légèrement coniques que l'on aperçoit à la partie inférieure des côtes.

La surface du C. *Suckowi* ne porte aucune empreinte pouvant se rapporter, soit à des rameaux, soit à des feuilles; il faut donc se représenter ces plantes développées, comme des tiges longuement atténuées en pointe à la partie supérieure, plus

rapidement décroissantes et recourbées à la base, hautes de trois à quatre mètres et larges de dix à douze centimètres. Les articulations inférieures



Fig. 12. — Calamites Suckowi.

seules possédaient des organes appendiculaires qui étaient des racines. Les fructifications en sont inconnues.

Calamites Cisti. Brongt.

Les tiges de *Calamites Cisti* développées ont 8 à 10 centimètres de diamètre; les entre-nœuds, relativement plus allongés que dans l'espèce précédente, mesurent 8 à 12 centimètres en moyenne. Les côtes atteignent à peine 1^{mm} en largeur, elles sont aiguës à leur extrémité, et portent au sommet des mamelons oblongs et moins accusés que dans le C. Suckowi. Les sillons sont limités par deux petites bandes semblables à celles dont nous avons parlé plus haut.

Le sommet des tiges était pourvu de nombreux rameaux, disposés en verticilles; eux-mêmes portaient des ramules à leurs articulations, mais, de même que les tiges, les rameaux et les ramules étaient complètement dépourvus de gaînes et de feuilles.

Les tiges étaient cylindriques et conservaient le même diamètre pendant un certain temps, elles s'atténuaient par conséquent beaucoup moins en haut et en bas que le C. Suckowi. Leur partie inférieure paraît également moins recourbée; elles semblent avoir poussé en touffe, mais les tiges souterraines ou les rhizomes d'où elles partaient n'ont pas encore été trouvés dans le voisinage.

Cette espèce est commune dans les terrains houillers de Pennsylvanie, ou Cist le premier l'a rencontrée dans l'Illinois, à Saarbruck, à Montre-

lais, à Saint-Etienne, Epinac, Blanzy, Montchanin, etc., etc.

Fructifications des Calamites.

Sous le nom de *Calamostachys,* M. Grand'Eury a signalé des épis grêles et délicats tenant encore à des rameaux articulés, sans feuilles, mêlés à des rameaux de C. *Cisti* et C. *foliosus ;* ce serait là les vrais épis des Calamites.

Ces épis, longs de 20 à 22^{mm} et larges de 3, sont articulés, disposés en nombre assez considérable aux articulations ; examinés à un faible grossissement, on distingue des bractées peltiformes à contour polygonal, tous les verticilles sont fertiles et chaque bractée portait en dessous un certain nombre de sporanges dont le nombre n'a pu être déterminé.

Comme on le voit d'après ce qui précède, les *Calamites* différaient assez peu des Prêles et peuvent être considérés comme formant un genre voisin du genre Equisetum. Les Equisétacées, dont nous allons dire quelques mots dans les pages suivantes, s'en écartent davantage, quoiqu'elles conservent encore un grand nombre de caractères communs.

SOUS-FAMILLE DES ANNULARIÉES.

Les caractères des plantes appartenant à ce groupe d'Equisétacées sont les suivants : Tiges

pouvant atteindre 6 à 8 centimètres de diamètre, offrant peu de résistance à cause du faible développement de leur système ligneux et cortical; moelle considérable, disparaissant rapidement, mais laissant aux nœuds un diaphragme qui contribuait à donner à cette partie de la plante un peu plus de solidité.

Rameaux opposés quelquefois verticillés, quand la tige devenait aérienne, naissant entre les feuilles; les feuilles variables de dimension sont verticillées, étalées dans le plan du rameau, l'articulation qui les porte est par conséquent plus ou moins oblique par rapport à l'axe de ce dernier. Les feuilles placées sur les côtés du verticille sont généralement plus longues que celles d'avant et d'arrière.

Elles sont allongées, lancéolées, ou à bords droits; souvent le limbe, après s'être un peu élargi, se termine en pointe, elles sont parcourues par une nervure médiane.

Les fructifications qu'on leur rapporte sont désignées sous le nom de *Bruckmannia*.

L'espèce la plus répandue est l'*Annularia longifolia*. Brongt, Syn. A. *stellata* Schlot.

Annularia longifolia. Brongt.

Tiges souvent rompues de 6 à 7 centimètres de diamètre, quelquefois plus faibles; les articulations sont quelquefois très nettes à cause du diaphragme

qui a empêché leur froissement et conservé leur forme ; tout autour et à l'extérieur on remarque des feuilles en languettes soudées à la base.

Le cylindre ligneux a laissé les traces de sa structure équisétiforme. En effet, les commissures résultant de la réunion à l'articulation de deux faisceaux parallèles voisins forment une couronne de dentelures, au sommet de chaque dentelure viennent se rattacher les faisceaux parallèles de l'entre-nœud suivant ; des cordons vasculaires partent de l'intervalle des dents de cette couronne en prolongement des bandes vasculaires de l'entre-nœud pour se diriger extérieurement vers les feuilles. En dehors de ce cercle se trouve une série de lacunes rappelant les lacunes corticales des Prêles, à chaque faisceau ligneux correspond également une lacune essentielle.

Les tiges n'ont laissé qu'une très faible quantité de houille sur les empreintes, ce qui s'explique par leur constitution essentiellement parenchymateuse ; complètement plongées dans l'eau, elles ne présentaient qu'un système ligneux très peu développé eu égard à leurs dimensions, et leur écorce ne paraît pas avoir renfermé ni sclérenchyme ni tissu subéreux capables de former une certaine quantité de cette substance.

Les rameaux portant des tiges poussant dans l'eau, ne s'élevaient pas verticalement au-dessus du liquide, mais s'étalaient à la surface. Aux

articulations étaient insérées des feuilles nombreuses disposées en verticilles dirigés dans le même plan que celui des rameaux, de sorte que la circonférence formée par les bases d'insertion des feuilles est disposée obliquement par rapport à l'axe du rameau, et se présente sous la forme d'une ellipse dont le grand axe est dirigé dans le sens de la longueur. Comme cette espèce d'anneau est souvent très apparente sur les empreintes, cela leur a valu le nom d'*Annularia* que porte la famille. Fig. 13.

Les rameaux secondaires et les feuilles étaient disposés dans un même plan. La tige plongée dans l'eau émettait en effet à chaque articulation une série de rameaux qui, arrivés à la surface, y restaient en produisant dans un plan horizontal les rameaux secondaires et finissaient par couvrir de larges espaces à la manière de certaines de nos plantes aquatiques; de distance en distance de longs épis se dressaient verticalement au-dessus de l'eau, et permettaient aux phénomènes de la fécondation de s'accomplir.

Les feuilles, nombreuses de vingt à trente par verticille, sont linéaires, lancéolées, acuminées au sommet, à nervure généralement nette, assez rigides, libres jusqu'à la base; les verticilles sont rapprochés, la longueur des feuilles varie beaucoup; sur les petits rameaux elles sont longues de 1 à 1 centimètre 5 et larges de 2 à 3^{mm}; sur les ra-

meaux de moyenne grandeur, elles mesurent 4 à 5 centimètres de long sur 3 à 4^{mm} de large; sur quelques échantillons de Brassac, les articulations, distantes de 5 à 5 centimètres 5, portent des feuilles longues de 6 à 7 centimètres et larges de 4 à 5^{mm}.

La seule nervure qui existe est forte et se relève en demi-cylindre saillant sur le dos de la feuille.

L'organisation interne d'un rameau est assez simple. Sur une coupe transversale mesurant 2 à 2^{mm}, 5 le cylindre ligneux, qui entoure une moelle relativement large, se montre formé de dix-huit faisceaux ayant chacun une lacune essentielle. Les trachéides qui ont persisté sont ou spiralées ou annelées; il n'y a pas de bois secondaire, le liber est formé uniquement d'éléments mous. L'écorce est composée d'une assise interne parenchymateuse, dont les éléments ont une tendance à devenir fibreux en s'approchant de la périphérie. La surface n'est pas cannelée et, si quelquefois les empreintes indiquent des cannelures, celles-ci proviennent des faisceaux libéro-ligneux qui accompagnent les lacunes intérieures et dont le tissu, plus résistant, s'est moulé sur l'argile.

L'écorce dans les rameaux de petite dimension ne paraît pas avoir contenu de lacunes.

Cette espèce se rencontre à Rive-de-Gier, Lorette, Grand-Croix (Loire), la Mure (Isère), Carmaux

(Allier), Blanzy, Epinac, Chambois, Millery près Autun (Saône-et-Loire).

Annularia sphenophylloïdes. Zenker.

Rameaux grêles, feuilles de 3 à 5^{mm} de longueur, au nombre de douze à seize environ par verticille, atténuées à la base, s'élargissant au sommet en spatule, mais terminées brusquement en pointe.

Limbe de la feuille assez coriace, nervure médiane peu visible, verticilles assez rapprochés, l'A. *sphenophylloïdes* se rencontre dans le terrain houiller supérieur.

On le trouve à Saint-Chamond, la Chazotte, Montaud, au Treuil, etc. (Loire), la Mure (Isère), Petit-Cœur (Savoie), Saint-Berain, Epinac, Cortecloux près Autun.

Annularia radiata. Brongt.

Rameaux grêles, feuilles larges de 3/4 à 1^{mm}, longues de 7 à 18^{mm}, au nombre de douze à quinze par verticille, très longuement elliptiques, atténuées aux extrémités, aiguës au sommet, nervure médiane assez accusée ; cette espèce est répandue dans le terrain houiller moyen. On la trouve à Vieux-Condé, Raismes, Aniches (Nord), à Lens, Bully, Grenay, etc.

Annularia Dawsoni. Schimper.

Tige assez grêle. Entre-nœuds de 8 à 10^{mm},

feuilles peu nombreuses, dix à douze par verticille, lancéolées, longuement elliptiques ; les plus grandes ont 6^{mm}, les plus courtes trois. La distance

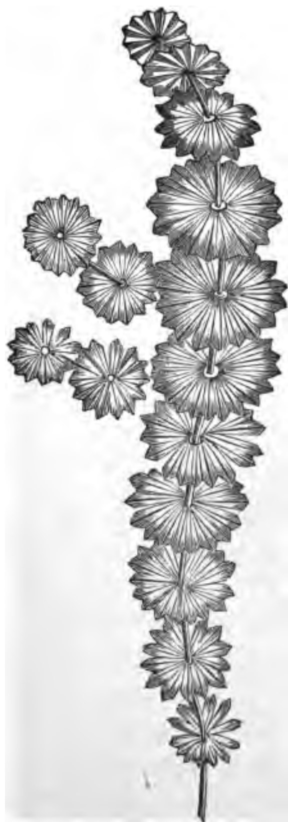


Fig. 13. — Annularia sphenophylloïdes, Zenker.

des entre-nœuds sur les rameaux est de 7 à 8^{mm}. On distingue sur les feuilles une nervure assez peu marquée.

Cette espèce est abondante dans les schistes du terrain houiller inférieur de Saint-John (Canada).

Fructifications des Annularia. Fig. 14, A.

Les épis qui portent les fructifications des Annularia (A. *longifolia,* entre autres) peuvent atteindre 15 à 20 centimètres de longueur sur 10 à 12^{mm} de largeur.

L'axe de l'épi mesure trois à quatre millimètres de diamètre, il est articulé, marqué de côtes longitudinales provenant du système ligneux interne, fig. A.

Aux articulations s'inséraient des bractées *stériles,* d'abord étalées horizontalement, puis dressées; la distance des nœuds était de 4 à 5^{mm}, quelquefois plus. Entre deux verticilles stériles se trouvait, à peu près à la moitié de l'entre-nœud, un verticille fertile composé de pédicelles (sporangiophores) se détachant normalement de l'axe et portant sur leur longueur un groupe de quatre sporanges, ovoïdes, deux placés au-dessus des sporangiophores et deux au-dessous. Le nombre des sporangiophores est ordinairement moitié de celui des bractées stériles. Ils sont cylindriques, terminés en pointe; s'il a existé un disque peltoïde comme

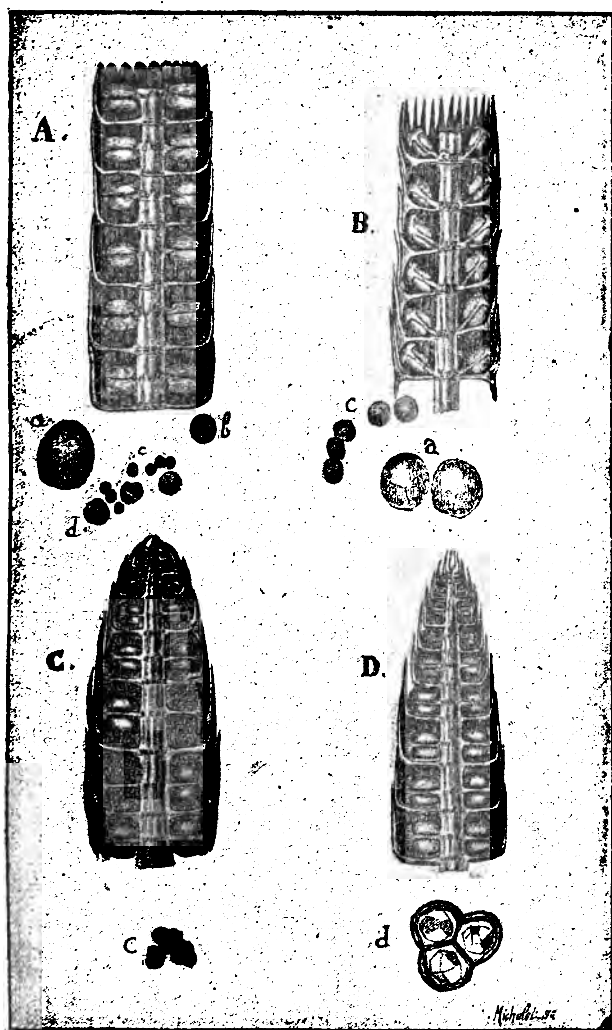


Fig. 14. — Fructifications d'Annularia, d'Astérophyllite. d'Arthropitus et de Calamodendron.

chez les prêles, ce disque a toujours disparu dans les échantillons trouvés soit à l'état d'empreinte, soit à l'état silicifié.

Les sporanges sont le plus souvent détachés de leur support et ce ne sont que les enveloppes que l'on trouve, leur contenu a été disséminé.

Le sporange garni de ses spores se présente sous la forme d'un petit sac à sections transversales et longitudinales, presque rectangulaires ; sa hauteur est de 2^{mm} environ, son épaisseur de $0{,}7^{mm}$ et sa longueur diamétrale de $1{,}3^{mm}$. Les spores qui y sont contenues sont sphériques, nombreuses.

Souvent on rencontre des sacs voisins renfermant des spores de grandeurs inégales ; les unes mesurent 3 à 4 centièmes de millimètres ; ce sont des *microspores*, quelquefois encore contenues au nombre de 4 dans leur cellule mère, dont le diamètre est de 0^{mm}, 08, fig. 14, A, *b, c, d.* Les autres spores, plus volumineuses, atteignent 0^{mm}, 95, fig. 14, A, *a,* sont triradiées ; ce sont des *macrospores.*

L'enveloppe des micro- et macro-sporanges est formée d'une seule couche de cellules rectangulaires, engrénées les unes dans les autres par un prolongement en forme de lamelle ; quoique très délicate, cette enveloppe est solide et se déchirait difficilement.

Son aspect extérieur est réticulé.

Les bractées stériles insérées perpendiculaire-

ment à l'axe de l'épi s'en éloignent d'abord horizontalement, puis deviennent presque verticales; elles sont lancéolées, épaisses, uninervées; la nervure est saillante, le limbe étroit, quoique s'élargissant un peu dans la partie relevée pour protéger les sporanges; leur extrémité est arrondie.

La structure de l'axe est sensiblement la même que celle des rameaux, sauf que le système ligneux est plus développé.

Chaque bande vasculaire est munie d'une lacune essentielle; elle se divise, comme chez les Prêles, en deux branches qui se réunissent deux à deux à la bande vasculaire alternante de l'entre-nœud supérieur; les sporangiophores sont en même nombre que les bandes et attachés sur le milieu de leur longueur.

Aux articulations on ne voit pas de cloison transversale, soit parce que sous ce rapport les épis différaient des tiges, soit plutôt parce que toute trace en aurait disparu.

Le plus souvent la surface de l'axe de l'épi ne présente ni écorce ni épiderme, ce qui fait qu'elle paraît cannelée à cause de la disposition des faisceaux du cylindre ligneux.

Le diamètre de l'axe peut atteindre 5 à 6^{mm}, et, comme il ne diminue que très lentement, la longueur de l'épi devait être considérable.

Malgré l'augmentation des éléments qui constituent les bandes ligneuses dans les épis d'*Annu-*

laria, comparativement aux faisceaux des rameaux, il n'existe pas trace de bois secondaire.

ASTÉROPHYLLITES.

Tiges et rameaux articulés, à épiderme lisse, ou marqué de faibles côtes longitudinales, munis aux articulations de feuilles linéaires, dressées, rigides, parcourues par une seule nervure, et égales entre elles, très nombreuses à chaque verticille.

Les tiges portent leurs rameaux disposés également en verticilles, et après la chute de ces derniers, les cicatrices larges qui leur correspondent.

Fructifications spiciformes, alternativement formées de verticilles, de bractées stériles et de bractées fertiles *Sporangiophores,* sporanges ordinairement au nombre de quatre à chaque bractée fertile ; cette dernière est placée immédiatement au-dessus de l'intervalle qui *sépare* deux bractées, et non au milieu de l'entre-nœud, comme dans les épis d'Annularia ; le nombre des sporangiophores est moitié moindre que celui des bractées stériles.

Tiges.

Sous le nom de *Calamophyllites,* M. Grand'Eury a désigné les tiges qui ont porté les rameaux d'Astérophyllites. Ces tiges sont généralement moins grosses que celles des Calamites, lisses, articulées

à plus courts intervalles, garnies souvent de longues feuilles libres, raides, dressées, ou bien portant leurs cicatrices rondes ou elliptiques transversalement. Au centre se trouve presque toujours une cicatricule vasculaire distincte. La tige porte en outre de grosses cicatrices discoïdales, disposées en verticille, situées au-dessus de l'articulation, qui sont les traces laissées par les rameaux. Les articles qui portent les cicatrices raméales sont notablement plus courts que les autres ; la longueur des entre-nœuds varie périodiquement d'un verticille de rameau au suivant, et les tiges ne s'effilent pas au sommet comme celle des Calamites.

L'écorce des Calamophyllites s'est toujours montrée assez épaisse, mais le tissu parenchymateux qui formait son assise interne, facile à détruire, a déterminé par sa disparition la séparation du moule calamitoïde interne du cylindre ligneux, de l'assise corticale externe plus résistante, qui seule a conservé les cicatrices laissées par la chute des feuilles ou des rameaux.

Rameaux.

Les rameaux sont articulés simples ou euxmêmes ramifiés une seule fois d'ordinaire ; la ramification secondaire se fait, soit en verticille, soit souvent dans un seul plan ; les rameaux distiques qui en résultent sont alors inégaux et inégalement

obliques, ce qui ferait croire que leur plan était vertical et passait par la tige comme dans les *Thuya* vivants.

Les Astérophyllites, d'après leur organisation, étaient faibles et peu résistants; mais il y a des empreintes qui indiquent des rameaux ligneux, robustes, également articulés, portant des feuilles verticillées, parcourues par plusieurs nervures; ces rameaux doivent en être distingués, ce sont ceux des *Arthropitus* et des *Calamodendron,* dont nous parlerons plus loin.

Nous citerons quelques espèces d'Astérophyllites tels que :

Asterophyllites equisetiformis. Schlotheim (fig. 15).

Feuilles linéaires longues de 12 à 15^{mm} et larges de 0,5 à 1^{mm} sur les petits rameaux, ayant de 2 à 3 centimètres de longueur, 1,5 et 2^{mm} sur les rameaux de plus forte dimension, atteignant 6 à 7 centimètres de long et 2 à 3^{mm} de large sur les tiges (Calamophyllites), en nombre très variable par verticille.

Les feuilles sont parcourues par une nervure médiane saillante, plus longues que l'entre-nœud; souvent, sous l'influence de la compression, l'articulation a pris la forme d'une ellipse saillante, sur les bords de laquelle les feuilles sont disposées en collerette; cette disposition, accidentelle chez les Astérophyllites, fréquente au contraire dans les

Annularia, ne peut pourtant pas amener de confusion entre les deux groupes, à cause des différences de forme qui existent entre les feuilles.

Cette espèce commence dans le terrain houiller moyen, traverse le terrain houiller supérieur et s'arrête vers le milieu de l'étage permien. On le



Fig. 15. — Asterophyllites equisetiformis.

rencontre à Anzin, Bully-Grenay, à Saint-Chamond, Montrambert, Commentry (Allier), Epinac, Lally, Igornay (Saône-et-Loire).

Asterophyllites tenuifolius. Sternb. Syn. *Asterophyllites longifolius*. Brongt.

Feuilles linéaires, larges à peine de 1^{mm}, sur 7 à 8 centimètres de longueur, nombreuses à chaque verticille, dressées contre la tige, articles variant de 1 centimètre à 1,5 de longueur.

Cette espèce paraît limitée aux couches supérieures du terrain houiller moyen et à la base du terrain houiller supérieur.

On la rencontre à Carmaux (Tarn), à Anzin, etc.

Asterophyllites foliosus. L. et Hutton.

Rameaux primaires finement striés, entre-nœuds distants de 15 à 20^{mm}, feuilles longues de 8 à 10^{mm}, les entre-nœuds mesurent 12 à 13^{mm}. Feuilles étalées presque horizontalement autour des rameaux secondaires; ceux-ci sont distiques très grêles.

Dans les couches houillères inférieures de Zwickau en Saxe, près de Saarbruck, d'Eichweiler, de Jarrow, de Newcastle, etc.

Jusqu'ici la structure interne des rameaux d'Astérophyllite n'est connue que par celle de leurs épis, comme pour les Calamites et les Annularia.

Les tiges et les rameaux n'ont pas encore été rencontrés à l'état carbonaté ou silicifié; peut-être cette particularité est-elle due au peu de consis-

tance de ces organes, dont le tissu ligneux était extrêmement peu développé.

Fructifications.

Les fructifications des Astérophyllites présentent plusieurs formes dont quelques-unes sont désignées sous le nom de *Volkmannia,* et peuvent être rapportées aux plantes qui les ont portées ; nous ne décrirons ici que l'une de ces formes, celle qui est la mieux connue.

Volkmannia gracilis (Sternberg). B. R., fig. 14. B.

Le sommet de l'épi est terminé en pointe arrondie et recouvert par les derniers verticilles de bractées stériles qui, en se réunissant et en se recouvrant, donnent à l'extrémité une forme obtuse.

Le diamètre total est de 8 à 9^{mm}, celui de l'axe de 2^{mm}, 5 environ. Sa partie ligneuse est formée de bandes vasculaires distinctes disposées parallèlement, comme dans les Equisétacées, et constituant un cylindre entourant une moelle ; chacun d'eux est muni du côté de l'axe d'une lacune dont l'origine est vraisemblablement la même que dans ces dernières plantes, mais le bois, au lieu de cesser à la hauteur des lacunes, se continue du côté de la moelle, et ses éléments augmentent de diamètre de

façon à constituer à partir des lacunes un mince cylindre ligneux *centripète*.

Les lacunes sont donc creusées à la périphérie de ce cylindre. La moelle est composée de cellules un peu plus hautes que larges, disposées sans interruption aux articulations par files verticales; il n'y a donc pas de cloisons transversales comme chez les prêles.

Le nombre des faisceaux vasculaires correspond à celui des sporangiophores.

L'axe porte alternativement des verticilles stériles et des verticilles fertiles. Les premiers se composent ordinairement de vingt bractées libres jusqu'à la base; elles s'éloignent horizontalement de leur point d'insertion, en se recourbant un peu vers le bas, puis elles se relèvent verticalement et leur extrémité dépasse sensiblement le verticille stérile suivant. La partie de la bractée où existe la courbure est renflée et se prolonge en dessous en forme d'onglet plus ou moins saillant dans l'entrenœud inférieur.

Une coupe transversale des bractées, dans la partie où elles forment une sorte de plancher horizontal discontinu, montre qu'elles sont planes en dessus, mais munies d'une côte saillante en dessous, parcourues en leur milieu par une rainure longitudinale.

Les bractées se rejoignent en dessus par leurs bords, mais sans se souder; leurs sections trans-

versales, à différentes hauteurs dans la partie redressée, montrent qu'elles sont raides, uninervées, subulées, non lancéolées et aplaties comme celles des fructifications d'Annularia, mais diminuant de largeur à peu près régulièrement de la partie récourbée jusqu'au sommet terminé en pointe.

Entre les bractées, de deux en deux sur un même verticille et un peu au-dessus, s'insèrent les *sporangiophores;* ceux-ci ont, comme on le voit, un mode d'insertion tout différent de celui des sporangiophores des épis d'Annularia; ils s'élèvent obliquement en s'écartant de l'axe; leur extrémité se dilate en forme de disque épais, sous les bords duquel, parallèlement à l'axe du sporangiophore, sont disposés quatre sporanges ovoïdes dont la pointe regarde le côté de l'axe; leur longueur est de 0^{mm}, 7 et leur diamètre 0^{mm}, 3.

L'enveloppe n'est formée que d'une seule couche de cellules, dont les parois latérales s'engrènent par un prolongement lamellaire comme chez les *Annularia;* ses bords se soudent à l'épiderme du disque peltoïde et semblent en être la continuation; de même la base du sporange se continue directement avec le tissu du disque; les sporanges n'étaient donc pas caducs comme ceux du genre précédent.

Cette circonstance fait que les épis peuvent encore présenter des verticilles portant le nombre des sporanges au complet.

Un même verticille montre quelquefois juxtaposés des sporanges renfermant des granulations de nature différente, les unes polyédriques, tantôt isolées, tantôt groupées par 4; leur diamètre ne dépasse pas 0^{mm}, 07; ce sont des microspores; les autres sphériques, encore plongées dans le tissu du sporange, et mesurant 0^{mm}, 18 de diamètre, par conséquent 16 fois plus grosses que les précédentes; ce sont des macrospores, elles portent sur leur enveloppe la triradiation caractéristique.

Les Astérophyllites, comme les Annularia, ont donc possédé deux espèces de spores; les Equisétacées de l'époque houillère se divisent dès lors en deux grandes sections, celle des Equisétacées isosporées et celle des Equisétacées hétérosporées.

Le tableau suivant renferme, réparties dans différents étages, quelques espèces de ces deux groupes.

TERRAIN	EQUISÉTACÉES			
	HÉTÉROSPORÉES		ISOSPORÉES	
	Annularia	Astérophyllites	Equisetum	Calamite
Miocène.	. . . .	. . . .	E. Braunii.	
Eocène.	. . . .	. . . .	E. bilinicum. E. Parlatorii.	
Crétacé.	. . . .	. . . .	E. Lyelli. E. Buchardti.	
Jurassique.	. . . .	. . . .	E. Bunburyanun. E. veronense.	
Liasique.	. . . .	. . . .	E. columnare. E. liasicum.	
Triasique.	. . . .	. . . .	E. Pellati. R. arenaceum.	
Permien.	A. spicata. A. longifolia.	A. equisetiformis. A. hippuroïdes.	. . . .	C. infractus. C. Suckowii.
Houiller supérieur.	. . . . A. Sphenophylloïdes.	. . . . A. foliosus.	E. Monyi.	C. Suckowii. C. Cisti.
Houiller moyen.	A. radiata. A. minuta.	A. longifolius.	E. giganteum.	C. Suckowii.
Houiller inférieur.	A. acicularis.	A. pigmaeus.	. . . .	C. decoratus. C. Voltzii.
Dévonien.	A. Dawsoni.	A. coronatus.		

Ce tableau montre que l'on ne peut considérer les Equisetum actuels comme les descendants de l'un quelconque des trois autres genres, puisqu'ils existaient déjà à l'époque houillère, en compagnie de ceux-ci et avec leurs caractères propres.

Les tiges calamitoïdes dont nous venons d'esquisser rapidement les caractères ne sont pas les seules qui ont vécu aux époques anciennes, mais les exemples que nous avons choisis sont suffisants pour montrer qu'il y avait alors une variété beaucoup plus grande que de nos jours, dans les individus et dans les genres qui composaient la classe des Calamariées.

Cette forme de tige si répandue dans les terrains primaires paraît avoir appartenu non seulement à des plantes dont les organes de fructifications ont des caractères franchement cryptogamiques, en rapport avec ceux fournis par les organes végétatifs, mais aussi à des végétaux plus élevés en organisation qui sont bien voisins, s'ils n'en font partie, de ceux que nous rangeons parmi les phanérogames. Dans les pages suivantes nous allons nous occuper de ces plantes intéressantes à plus d'un titre.

II. Famille des Calamodendrées.

La famille des Calamodendrées comprend les trois genres suivants :

G. *Bornia*, G. *Arthropitus* et G. *Calamodendron*.

Les caractères généraux de la famille sont les suivants :

Plantes arborescentes, tiges droites, cylindriques, articulées, à écorce lisse, rameaux plus ou moins nombreux naissant en verticille, soit sur des articulations successives rapprochées (*Calamites cruciatus*), soit sur des articulations distinctes et séparées par des articles non ramifères; l'articulation non munie de rameaux, qui suit celle qui en porte, est généralement plus courte que les suivantes qui en sont également dépourvues. Les rameaux sont articulés, portent soit des ramules, soit des feuilles verticillées, les feuilles sont linéaires, simples ou dichotomes. Il n'existe pas de gaînes.

Les racines naissent le plus souvent en verticille, quelquefois d'une manière irrégulière; elles ne sont pas articulées.

La tige comprend une moelle relativement volumineuse, souvent cloisonnée, entourée d'un cylindre formé de coins ligneux plus ou moins séparés et distincts, munis ou non d'une lacune à leur extrémité interne; ils sont composés de trachéides rayées, réticulées ou ponctuées, disposées en séries rayonnantes, séparées par des rayons cellulaires dont les éléments sont toujours plus *hauts* que *larges*; il n'y a pas de bois centripète, dans les tiges et les rameaux.

L'écorce est généralement peu épaisse, quelquefois lacuneuse, entièrement cellulaire ou quelquefois munie de bandes hypodermiques.

Les racines présentent généralement une moelle centrale, un cylindre ligneux formé d'un nombre variable de faisceaux centripètes, plus ou moins engagés dans le bois secondaire rayonnant extérieur, qui prend un développement considérable; les éléments de ce dernier bois sont les mêmes que ceux des tiges dont les racines dépendent. Il n'y a jamais de lacunes dans le bois des racines.

L'écorce des racines est épaisse et presque toujours creusée de lacunes disposées régulièrement en cercle. Les radicelles qui en portent ne sont pas disposées en verticilles.

Les fructifications mâles des Calamodendrées sont spiciformes, elles rappellent les fructifications des Annularia. Tantôt les verticilles fertiles mâles sont seuls, tantôt ils sont accompagnés de verticilles stériles qui alternent avec eux, les verticilles fertiles portent 4 sacs polliniques.

Les fructifications femelles sont encore imparfaitement connues.

Ces végétaux sont plus communs que l'on ne le suppose généralement. Beaucoup d'empreintes rapportées aux Calamites ne sont en effet que des moules de la partie médullaire de Calamodendrées débarrassés de la couche de houille très notable qui les recouvrait.

Tantôt les tiges se terminaient en s'atténuant dans la partie plongée dans le sol en restant droite; tantôt elles se recourbaient en s'amincissant, lorsqu'elles partaient d'un rhizome souterrain, articulé comme les tiges aériennes et se propageant à la manière des Prêles.

La famille des Calamodendrées, extrêmement importante, a des représentants répartis dans toutes les couches du terrain houiller, depuis le Culm jusque dans le Permien.

GENRE BORNIA. E. Roemer.

Le genre *Bornia* (fig. 17, c), est caractérisé :

1° Par la non-alternance aux articulations de la plupart des côtes;

2° Par l'absence complète de gaînes sur les tiges et les rameaux;

3° Par la présence aux nœuds sur les jeunes tiges de feuilles libres linéaires, lancéolées, et, sur ceux des rameaux, d'autres feuilles plus longues, linéaires, plusieurs fois dichotomes.

Bornia radiata. Brongt (fig. 16).

Feuilles libres, courtes, linéaires sur les jeunes tiges, longues, plusieurs fois dichotomes sur les rameaux ou les ramules.

Cette espèce est caractéristique du terrain houiller

inférieur, elle se rencontre dans la Grauwache supérieure de Thann, de Silésie en Saxe, dans les étages du Culm en Moravie, dans le calcaire houiller de Petrowskaja (Russie), dans les dépôts houillers inférieurs des Etats-Unis, à Saint-Romain, au nord-ouest d'Autun.



Fig. 16. — Fragment de tige de *Bornia radiata* portant un verticille de rameaux.

Bornia laticostata. Ettingsh.

Côtes convexes et sillons très larges rayés longitudinalement.

Dans les ardoises du Culm, près de Meltsch, en Moravie.

Bornia esnosti. B. R.

Cette espèce est connue par sa structure interne.

Sur une coupe transversale d'un fragment de Bornia, le cylindre ligneux, assez développé, mesure 2 centimètres 3 et entoure une moelle volumineuse ; le diamètre de la tige dépourvue d'écorce devait atteindre 5 à 6 centimètres. Le cylindre ligneux est continu, formé de lames rayonnantes de trachéides, de une à quatre files juxtaposées en épaisseur.

Les coins de bois sont munis, vers leur extrémité médullaire, d'une lacune aérienne, mais ne sont pas séparés ici par des lames cellulaires épaisses ou fibreuses, comme dans les *Arthropitus* et les Calamodendron ; à chaque articulation, ils forment un léger relief saillant du côté de la moelle.

Les lacunes aériennes sont distantes les unes des autres de 5^{mm}, les coins de bois sont arrondis à leur extrémité et l'empreinte qu'ils auraient produite serait assez analogue à celle du *Bornia laticostata.*

Les trachéides portent sur les faces latérales de fines *ponctuations aréolées,* disposées en files verticales sur un à trois rangs, et en alternance. Le pore est elliptique, et son grand axe est incliné de

45° environ sur celui de la trachéide. Les files de trachéides sont séparées par des rayons médullaires, composés de une à vingt-trois cellules en hauteur et une rangée, quelquefois deux, en épaisseur.

Ces cellules peuvent atteindre 0^{mm}, 22 de long et 0^{mm}, 06 de large, caractère essentiel des cellules des rayons qui, chez les Calamodendrées, sont plus hautes que larges.

Au contact des trachéides, elles sont marquées de ponctuations larges, irrégulières, disposées quelquefois en réseau. Leurs parois supérieure et inférieure sont également ponctuées, mais plus finement et d'une façon plus régulière.

Les racines naissent en verticille aux articulations, se divisent parfois en deux branches presque égales, qui simulent une sorte de dichotomie.

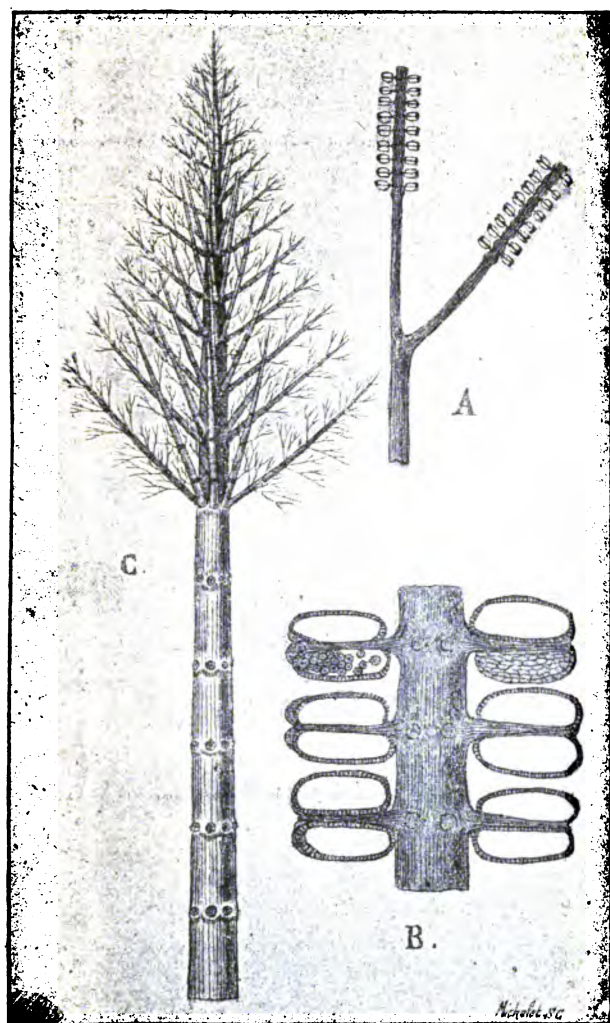
Les faisceaux de bois primaire centripète, dans une racine dépourvue de son écorce et mesurant 3^{mm} de diamètre, sont nombreux, moins enclavés dans le bois secondaire que cela se présente dans les racines d'*Arthropitus*.

Dans les racines ayant les dimensions que nous venons d'indiquer, les faisceaux centripètes n'atteignent pas le centre de l'organe; ils sont formés de trachéides rayées à la périphérie, mais ponctuées du côté de l'axe.

Le bois *secondaire* est très developpé, sans lacune aérienne, composé de trachéides ponctuées comme

Fig. 17.

C, Bornia restauré, les rameaux disposés en verticilles portent des feuilles également verticillées deux ou plusieurs fois bifurquées. — A, rameau fructifère terminés par deux épis de Bornia. — B, fragment d'épi grossi montrant les bractées portant quatre sacs dont quelques-uns contiennent quelques fructifications.


A
C.
B.
Nicholet SC

celles de la tige, mais plus courtes, marquées de ponctuations aréolées à pore elliptique oblique, et disposées sur une ou plusieurs files, suivant la largeur de la paroi latérale de la trachéide; les rayons médullaires sont également formés de cellules plus hautes que larges, sur un ou deux rangs en épaisseur.

Loc. Gisements silicifiés d'Enost au nord-ouest d'Autun appartenant au Culm.

Fructifications du *Bornia radiata.*

Nous donnons, fig. 17 A. B., en même temps que le port d'un *Bornia* restauré, le dessin des fructifications mâles qu'ils ont portées.

Ces fructifications sont en forme d'épis, terminant les rameaux ou les ramules, longs de 15^{mm} à 13 centimètres, larges de 5 à 12^{mm}, tantôt simples et courts, tantôt longs et interrompus dans leur longueur par des verticilles de feuilles qui rendent, pour ainsi dire, l'épi lui-même articulé. Certains épis recueillis dans les couches anthracifères de la Vendée, et encore attachés à des ramules de *Bornia radiata,* présentent les caractères suivants :

La longueur est de 13 à 15^{mm}, et leur diamètre de 5^{mm} environ ; l'axe mesure $1^{mm},2$ en largeur.

Il n'y a aucune trace de verticille stérile entre les verticilles fertiles ; ceux-ci sont distants les uns des autres de $0^{mm},9$.

Les bractées, *toutes* fertiles, sont cylindriques, linéaires, rigides, insérées perpendiculairement à l'axe de l'épi, au nombre de 8 à 10 par verticille, dilatées en un faible disque peltoïde, ombiliqué au centre; sous le disque se trouvent quatre sacs allongés, adhérents en partie à la portion horizontale de la bractée. Leur longueur est de 1^{mm} et leur hauteur de $0^{mm},35$. Leur enveloppe présente un aspect réticulé, analogue à celui de la membrane des sacs des Calamodendrées.

La protection de ces sacs était assurée par la rigidité des bractées et par la juxtaposition des bords de leur partie discoïde, l'épi avait extérieurement l'aspect d'un prisme à six ou à huit faces, le nombre dépendant de celui des bractées insérées à chaque verticille, marqué à la surface de figures polyédriques ombiliquées dues à la face périphérique des bractées fertiles se touchant par leurs bords.

Dans l'intérieur de quelques-uns des sacs, dont la membrane est rompue, on remarque des granulations, mais dont il est impossible, à cause de l'état charbonneux où elles se trouvent, de reconnaître l'organisation.

GENRE ARTHROPITUS. Goeppert [1].

Les plantes qui constituent ce genre ont le

1. De αρθρον, article, et πιτυς, sapin, conifère articulée.

port des *Bornia,* mais ont atteint des dimensions bien plus considérables. La tige et les rameaux étaient articulés, la distance des articulations variait beaucoup avec les espèces depuis $0^{mm},01$ (*A. approximatus*) jusqu'à $0^{mm},15$ à $0^{mm},20$ (*A. major*). Les rameaux, les feuilles, souvent même les racines étaient disposés en verticilles. Les rameaux partent, soit d'articulations isolées, soit d'articulations successives rapprochées, rappelant la disposition raméale des Calamodendrons. L'articulation non ramifère qui suit une articulation portant des rameaux est placée à une distance moins grande de celle-ci que les articulations non ramifères ne le sont entre elles ; il semble que, pendant l'émission d'un verticille de rameaux, l'élongation de la tige ait été moins rapide. Les articulations reprennent ensuite leur allure habituelle jusqu'à une nouvelle émission de rameaux.

La tige était lisse à l'extérieur ; le moulage de l'écorce ne présente donc pas de cannelures longitudinales. Au contraire, le moulage du cylindre ligneux offre des côtes et des sillons, extrêmement accusés dans certaines espèces (*A. gigas, A. major*). Le moule de l'étui médullaire est toujours de forme calamitoïde, les sillons et les côtes sont très nets (fig. 18), beaucoup plus marqués que dans les moules de la moelle des *Calamites* ou des *Equisetum.* Lorsque la houille produite par le cylindre ligneux n'est pas détachée, elle forme une

couche épaisse autour du moule de la moelle, et des préparations suffisamment minces peuvent en déceler la structure.

Le cylindre ligneux est formé de coins de bois généralement séparés par une lame de tissu fondamental secondaire, très visible dans les A. *bistriata,* A. *communis,* A. *gigas,* moins apparente dans les A. *lineata,* A. *gallica,* A. *medullata,* etc. Les trachéides qui constituent l'élément vasculaire du bois sont rayées, réticulées ou ponctuées, suivant les espèces; les rayons cellulaires ligneux qui séparent les trachéides sont toujours formés de cellules plus *hautes* que larges; ce caractère est constant, comme nous l'avons dit, dans toute la famille des Calamodendrées. Les coins ligneux sont munis presque toujours d'une lacune à leur extrémité médullaire. Aux articulations, chaque coin de bois se divise en deux lames qui se réunissent de part et d'autre à deux lames ligneuses provenant d'une division semblable effectuée dans les deux coins ligneux voisins; les bandes ligneuses qui en résultent forment les coins ligneux de l'entre-nœud supérieur; ces coins ligneux restent séparés par la lame cellulaire de tissu fondamental secondaire dont nous avons parlé.

Les fructifications mâles, les seules qui soient connues avec certitude, étaient disposées en épis très analogues par la forme extérieure avec celles des Annularia et des Astérophyllites; nous re-

viendrons plus loin sur l'organisation de ces épis.



Fig. 18. — Moelle d'un Arthropitus.

Les racines présentent une structure remarquable; quelques-unes ont été décrites sous le nom générique d'*Astromyelon*.

Nous allons passer en revue quelques espèces d'Arthropitus.

Arthropitus bistriata. Goep.

Tige arborescente, de plusieurs décimètres de diamètre, articulations distantes de 7 à 8 centimètres, plus rapprochées, 3 à 4 centimètres, dans les portions de la tige où les articulations portent des rameaux, simulant une sorte de *Calamites cruciatus.* Cette espèce est caractérisée par la présence, entre les coins de bois, de lames de tissu fondamental secondaire bien distinctes, s'étendant sans interruption d'une articulation à l'autre, et du centre à la périphérie. Cette lame se distingue non seulement dans les échantillons silicifiés à structure conservée, mais encore sur les empreintes qui ont encore la couche de houille provenant du tissu ligneux.

L'*Arthropitus bistriata* présente plusieurs variétés; l'espèce type possède des coins ligneux atténués en pointe aiguë du côté de la moelle; elle est commune dans les gisements du Val-d'Ajol, de Saint-Hilaire et ceux d'Autun.

Une variété que nous désignerons par *Arthro pitus borgiensis,* B. R., très commune dans ces derniers gisements, s'en distingue par la forme plus arrondie, plus obtuse des coins ligneux à leur extrémité médullaire, et par l'épaisseur de ces coins, qui sont moins nombreux que dans l'espèce type.

Nous donnons, fig. 19, la section d'une portion d'un rameau d'*Arthropitus borgiensis* muni de son écorce.

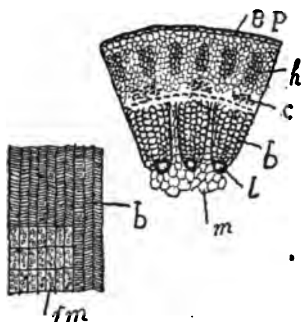


Fig. 19. — Coupe transversale d'un rameau d'*Arthropitus*.

1° *m*, moelle. — *l*, lacune placée à l'extrémité des coins ligneux. — *b*, coins ligneux séparés par des bandes de tissu fondamental secondaire. — *c*, cellules gommeuses. — *h*, bandes hypodermiques. — *ep*, épiderme.

2° *b*, trachéides rayées. — *rm*, rayons médullaires.

Dans l'*Arthropitus bistriata*, les trachéides du cylindre ligneux sont rayées et réticulées sur leurs faces latérales; elles forment des séries rayonnantes composées de deux ou trois rangées de trachéides accolées, les rayons médullaires qui séparent les séries sont formés de cellules deux à cinq fois plus hautes que larges, *r m*, et leurs parois en contact avec les trachéides sont marquées de ponctuations arrondies disposées irrégulièrement.

Les bandes de tissu fondamental secondaire sont

formées par des cellules à sections rectangulaires presque isodiamétrales.

Les lacunes placées à l'extrémité des coins ligneux renferment des trachées déroulables accolées aux trachéides du bois, les parois des lacunes sont formées par des cellules allongées prismatiques, à parois lisses, mais quelquefois marquées dans les jeunes rameaux de raies bien distinctes.

Rarement on trouve l'écorce conservée, elle était peu épaisse, formée en grande partie de parenchyme cellulaire, traversé par des bandes hypodermiques longitudinales *h;* souvent il s'établissait des lacunes entre ces bandes.

Le *liber* est formé de parenchyme libérien et de tubes grillagés; plus en dehors, on remarque des canaux à gomme *c,* provenant peut-être de vieux tubes grillagés, et formant des îlots en même nombre que les coins ligneux.

Le nombre des fragments d'*Arthropitus bistriata* que l'on rencontre transformés en houille est assez considérable dans le terrain houiller de Commentry; non seulement ils offrent tous les caractères que nous venons de signaler, mais encore en plus des bandes hypodermiques périphériques corticales, un épiderme bien conservé, que les échantillons silicifiés eux-mêmes ne nous ont montré qu'une seule fois.

Il est intéressant de comparer les dimensions des éléments organiques conservés par la silice et

celles des mêmes éléments houillifiés pris dans des espèces semblables.

A l'état silicifié, les dimensions des trachéides sont, sur une coupe transversale d'environ $0^{mm},045$ dans le sens du rayon, de $0^{mm}, 04$ dans le sens tangentiel ; la distance des raies sur les parois des trachéides est de $0^{mm}, 0085$.

Les cellules des rayons médullaires ligneux ont en moyenne une hauteur de $0^{mm}, 14$, une largeur de $0^{mm}, 045$ et une épaisseur de $0^{mm}, 03$.

A l'état houillifié, la plus grande largeur des trachéides est de $0^{mm}, 025$ et leur épaisseur de $0^{mm}, 012$; on sait que les trachéides houillifiées ont leurs parois sensiblement en contact et que le vide intérieur a presque complètement disparu, sous la double influence de la diminution de volume des parois et de la compression extérieure.

La distance des raies est de $0^{mm}, 004$ à $0^{mm}, 005$.

Les cellules des rayons médullaires présentent, en moyenne, les dimensions suivantes : hauteur, $0^{mm}, 06$; largeur, $0^{mm}, 025$; épaisseur, $0^{mm}, 01$.

D'après ces données, la diminution de volume que les éléments organiques formés primitivement de cellulose (ou d'un isomère) ont subie en se changeant en houille, est de 11/12 du volume primitif.

Gisements : Commentry, St-Étienne, Blanzy, etc.

Arthropitus approximata (Schlotheim). B. R.

Tiges moins développées que dans l'espèce pré-

cédente, ne dépassant guère 1 décimètre de diamètre, articulations rapprochées, souvent marquées de cicatrices raméales disposées en quinconce rappelant un *Calamites cruciatus* de petit diamètre, distantes de 6 à 10^{mm}, couche épaisse de houille laissée par le cylindre ligneux. Le moule de la moelle porte des sillons et des côtes très nettes, et de plus est divisé transversalement par des cloisons, rappelant celles des *Cordaïtes.*

Les coins ligneux sont lentement atténués du côté de la moelle, obtus à leur extrémité, munis d'une lacune, séparés par des lames cellulaires jusqu'à la périphérie comme dans l'espèce précédente.

Les trachéides sont rayées, disposées en séries rayonnantes sur deux à trois rangs en épaisseur.

Cette espèce se distingue de l'*Arthropitus bistriata* par ses articulations plus rapprochées, ses dimensions moindres, et par sa moelle diaphragmatique.

Elle se rencontre dans le terrain houiller supérieur, à Saint-Etienne, à Commentry, Autun, Monceau-les-Mines, etc...

Arthropitus gigas (Brongt). B. R. Fig. 20.

Tiges d'une grosseur considérable, atteignant quelquefois cinquante centimètres de diamètre, coniques à la base comme la plupart des autres

Arthropitus, articulations distantes de cinq à dix centimètres; entre-nœuds sillonnés de côtes convexes, larges de 6 à 10^{mm}, terminées en pointe aiguë aux deux extrémités, très rarement marquées de cicatrices foliaires, mais portant souvent des cicatrices laissées par les rameaux ou les racines. Couche de houille très épaisse laissée par le cylindre ligneux.



Fig. 20. — Arthropitus gigas.

Coins ligneux terminés en pointe triangulaire du côté de la moelle, ne présentant *aucune lacune* à leur extrémité interne, séparés par d'épaisses

lames cellulaires, elles-mêmes parcourues par des lamelles ligneuses détachées des coins voisins. C'est à la compression de ce tissu cellulaire important, que sont dus les sillons longitudinaux profonds qui caractérisent les moulages interne et externe de l'*A. gigas*.

Les trachéides qui forment les coins ligneux sont *ponctuées* sur leurs faces latérales, à la manière des trachéides des tiges des cycadées. Les rayons cellulaires des coins ligneux sont épais et les cellules qui les forment sont trois à quatre fois plus hautes que larges.

Les trachéides silicifiées mesurent dans le sens radial $0^{mm},053$, dans le sens tangentiel $0^{mm},04$, la distance des ponctuations est de $0^{mm},014$.

Les trachéides houillifiées dans la même espèce offrent les dimensions correspondantes $0^{mm},008$; $0^{mm},026$; la distance des ponctuations est de $0^{mm},008$. La diminution de volume des éléments est donc environ de 16/17.

Cette espèce commence dans le terrain houiller supérieur et se prolonge dans les formations permiennes. C'est celle qui se rapproche le plus des gymnospermes actuelles.

Arthropitus cannaeformis. Schlotheim. B. R. Fig. 21.

Tiges de 12 à 15 centimètres de diamètre, atteignant quatre à cinq mètres de hauteur. Contractées

aux articulations qui étaient assez espacées; les côtes convexes assez saillantes ont trois à quatre millimètres de largeur, se terminent en coin à



Fig. 21. — Arthropitus cannaeformis.

leurs extrémités, mamelons arrondis. L'enveloppe charbonneuse est assez épaisse.

La tige, cylindrique sur une certaine étendue,

s'atténue en pointe à la partie inférieure et se recourbe quand elle s'attache à un rhizome.

Un peu au-dessous des articulations, dans les parties qui ont été recouvertes par la vase ou le sable, elles portent des radicelles assez volumineuses et plongeantes.

Le bois de l'*Arthropitus cannaeformis* présente la structure générale du bois des Arthropitus; les trachéides qui le forment sont ponctuées.

Les ponctuations sont sur une seule rangée.

Cette espèce se rencontre dans le terrain houiller supérieur et dans le terrain houiller moyen. On la trouve à Saint-Chamond, Montrambert, Commentry (Allier), Decize (Nièvre), Blanzy (Saône-et-Loire), dans le terrain houiller du Pas-de-Calais.

Les quelques espèces d'Arthropitus que nous venons de décrire sont suffisantes pour donner une idée du genre, qui en renferme beaucoup d'autres; nous dirons quelques mots de leurs racines et de leurs fructifications.

Racines des Arthropitus.

Tantôt les racines des Arthropitus étaient disposées en verticilles, A. *gigas,* A. *major,* A. *cannaeformis,* etc.; tantôt elles partaient irrégulièrement de la partie inférieure de la tige, A. *ezonata,* A. *medullosa,* etc.; elles étaient rapidement plongeantes, fortes, se ramifiant un certain nombre de fois, sans trace aucune d'articulation.

Nous en avons rencontré qui étaient encore attachées aux tiges ; par conséquent, il ne peut y avoir de doute sur leur attribution.

Les racines d'*Arthropitus bistriata, communis, subcommunis,* présentent l'organisation suivante :

Sur une coupe transversale, on distingue :

1° Une moelle très développée eu égard au diamètre de l'échantillon ;

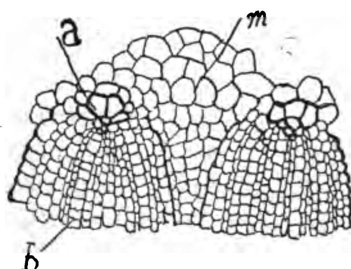


Fig. 22. — Racine d'Arthropitus.

a, bois centripète de la racine. — *b,* bois centrifuge. — *m,* moelle envoyant des prolongements entre les coins ligneux.

2° Une couronne ligneuse régulière, formée par la réunion, en forme de cylindre, de coins ligneux distincts et faisant saillie du côté de la moelle par leur extrémité interne, une zone libérienne continue peu épaisse à l'extérieur du cylindre ligneux ;

3° Une écorce très développée, dans laquelle nous distinguerons plusieurs assises.

La moelle *m,* fig. 22, forme une zone continue

appliquée contre le cylindre ligneux, et envoie des prolongements distincts entre les coins de bois; elle ne se divise jamais, comme celle des Cordaïtes, en lamelles transversales ni en cloisons rappelant celles de certaines tiges d'Arthropitus. C'est cette disposition de la moelle en forme d'étoile, dont les rayons s'engagent entre les coins ligneux, qui a fait donner par M. Williamson le nom d'*Astromyelon* à ces organes regardés par ce savant comme des tiges.

Bois. — Il est facile de reconnaître sur une coupe transversale que chaque coin ligneux est formé de deux parties distinctes, l'une composée de lames ligneuses rayonnantes séparées par des rayons médullaires; l'autre, au contraire, présentant des éléments disposés sans ordre et sans cellules intercalées; cette dernière est enclavée en forme de coin dans l'extrémité de la première, qui l'entoure plus ou moins; un rayon cellulaire épais du bois secondaire correspond à sa pointe trachéenne.

La région commune est occupée au milieu par des trachées, en allant du côté du centre les éléments ligneux vont en augmentant de diamètre, la section transversale de ce bois interne, *a*, fig. 22, est arrondie du côté de la moelle et aiguë dans la partie opposée où se trouvent les éléments trachéens; il doit être considéré comme un bois centripète. C'est le bois primaire de la racine.

La partie extérieure est formée de lames ligneuses rayonnantes, mais qui s'incurvent en atteignant les côtés de la masse de forme triangulaire du bois centripète.

Les éléments qui composent les lames ont une section rectangulaire à côtés presque égaux ; suivant la hauteur de la section transversale de l'échantillon, on rencontre deux ou trois lames ligneuses en contact ; d'autres fois chaque lame est séparée de sa voisine par un rayon cellulaire qui, lui-même, peut être formé de une ou deux rangées en épaisseur de cellules superposées.

Le faisceau ligneux centripète ou bois primaire est formé de trachées et de trachéides rayées.

Le bois secondaire centrifuge est composé de trachéides rayées et de rayons cellulaires ligneux, à éléments plus hauts que larges, présentant le même aspect que les éléments correspondants du bois des espèces d'Arthropitus d'où les racines proviennent.

La couche libérienne forme une zone continue, composée uniquement de tissu mou, parenchyme libérien et cellules grillagées. Plus extérieurement, on voit une couche que l'on peut considérer comme un *endoderme*.

Ecorce. — L'écorce présente un développement considérable. On peut y distinguer trois assises ; l'une continue, entièrement cellulaire, à gros élé-

ments disposés en files verticales; la deuxième, plus extérieure, renfermant une série de lacunes assez irrégulières de grandeur et de forme, plus hautes que larges et disposées en spirale sur le pourtour de la racine. Enfin, la plus extérieure, cellulaire, assez analogue à la première, mais plus épaisse, se continuant vers la périphérie par des cellules à section rectangulaire plus petites, alignées dans le sens du rayon et que l'on peut considérer comme formant une gaîne subéreuse épaisse entourant la racine.

Souvent la surface extérieure est cannelée longitudinalement.

Dépourvue d'hypoderme et de tissus se transformant en sclérenchyme, l'écorce était facilement entamée par le contact des corps étrangers.

Des déchirures fréquentes devaient se produire et permettre à des corps étrangers de pénétrer, même du vivant de la racine, dans l'épaisseur des tissus. De plus, ceux-ci, de nature succulente, pouvaient servir d'aliment à quelques-uns des êtres nombreux qui peuplaient les lagunes dans lesquelles les Calamodendrées aimaient à vivre.

Ces différentes remarques expliquent facilement la rareté des échantillons qui ont conservé leur écorce.

Il n'est pas rare de rencontrer des racines décortiquées qui portent des traces d'insertion de racines plus petites rapprochées par place; la ramification

paraît donc avoir été complètement irrégulière. Les racines, plus petites, présentent la même organisation que le rameau principal d'où elles partent, sauf pour les très petites racines, dans lesquelles les faisceaux ligneux centripètes se soudent en un seul cylindre axile dépourvu de moelle. Leur bois centripète vient s'appliquer contre le bois centripète de la racine d'où elles émergent, et la soudure par la disposition de ses éléments raccourcis rappelle l'insertion d'une racine, et non celle d'un rameau de tige.

Fructifications des Arthropitus. Voir fig. 14, C.

Les fructifications mâles des Arthropitus sont en forme d'épis composés, comme ceux des Annularia, *alternativement* de verticilles stériles et de verticilles fertiles ; mais les bractées qui forment les verticilles stériles, au lieu d'être libres sur toute leur longueur, se soudent dans leur partie horizontale en une sorte de plancher continu et ne deviennent libres que dans leur partie dressée verticale, dont la longueur dépasse le verticille suivant.

Les dimensions des épis sont très variables ; on trouve tous les intermédiaires entre le *Calamostachys Binneyana,* qui mesure à peine dix millimètres de haut sur deux millimètres et demi de large, et le *Bruckmannia Grand'Euryi,* qui atteint

sept à huit centimètres de long sur dix à douze de large.

Dans le *Calamostachys Binneyana,* les bractées fertiles, dilatées à leur extrémitée en disque peltoïde, portent sur la face interne quatre sacs polliniques contenant des cellules mères avec quatre grains de pollen; comme les échantillons du Lancashire sont calcifiés, ce n'est qu'exceptionnellement que l'on peut constater les détails internes des grains de pollen, si visibles dans les échantillons silicifiés.

Les épis bien plus développés qui se groupent autour du *Bruckmannia Grand'Euryi,* et proviennent des gisements d'Autun et de Saint-Etienne, présentent en outre la particularité que les planchers horizontaux résultant de la soudure de la partie inférieure des bractées stériles sont reliés par des cloisons verticales à chacune des bractées fertiles. Ces dernières sont recouvertes sur leur portion peltoïde d'une couche de cellules élastiques qui se prolonge sur le bord externe des cloisons.

Les sacs polliniques, groupés par quatre, soudés par leur base à la face interne des disques, sont donc partiellement renfermés dans des loges formées, d'une part, par le plancher horizontal des bractées stériles et par les cloisons verticales les reliant aux bractées fertiles, et de l'autre, par le disque peltoïde de ces dernières.

Les membranes des sacs sont formées de cellules solidement engrenées les unes avec les autres, au

moyen de prolongements multiples portant des parois latérales de chacune d'elles. Dans chaque cellule mère, il est toujours possible de reconnaître les grains de pollen avec leur exine, leur intine *d*, pluricellulaire, fig. 14.

Les cellules développées dans l'intine, au nombre de 8 ou 10, sont polyédriques et équivalentes : aucune ne prend un développement plus considérable que ses voisines.

Sur une coupe transversale de l'axe de l'épi faite dans un entre-nœud, on remarque que le cylindre ligneux est formé d'un nombre de coins de bois dont le nombre varie avec le diamètre de l'axe, et, de plus, que ces coins ligneux ont des dimensions relatives assez différentes ; tous sont munis d'une lacune à leur extrémité interne, qui est plus ou moins apparente.

Dans le *Bruckmannia Decaisnei* B. R., que nous pouvons prendre comme exemple, on voit le cylindre composé de 6 coins ligneux principaux, chacun présentant une lacune parfaitement nette. De chaque côté de ces coins ligneux, un peu en dehors, se trouve un faisceau vasculaire plus grêle, muni également d'une lacune, mais souvent peu distincte ; le cylindre ligneux est donc formé de six faisceaux ligneux principaux et de douze autres plus petits. C'est sur ces douze derniers que se trouvent insérées les douze bractées fertiles, le cordon vasculaire que chacune reçoit à son point de

départ dans la portion de l'entre-nœud placé immédiatement au-dessus d'elle ; dans son parcours dans la bractée, il occupe la face supérieure et se divise en quatre branches en arrivant dans la région peltoïde de la bractée ; chacune des branches s'épanouit à la base des sacs polliniques.

Les bractées stériles, qui sont au nombre de 24, reçoivent leurs cordons vasculaires, les unes (douze) des faisceaux principaux de la tige, les autres (douze) des faisceaux plus grêles dont nous avons parlé.

Tous ces faisceaux sont formés de lames de trachéides disposées en séries rayonnantes plus ou moins développées, les trachéides ont des ornements rayés et les trachées occupent le côté externe de la lacune. Les cellules qui forment les parois de la lacune de l'axe de l'épi ne sont pas terminées en pointe et offrent souvent des parois rayées.

GENRE CALAMODENDRON. Brongt [1].

La tige des Calamodendron était droite, cylindrique, articulée, pouvant atteindre plusieurs décimètres de diamètre et quinze à vingt mètres de hauteur ; les rameaux naissaient, comme chez les Arthropitus, des articulations à l'aisselle de feuilles verticillées ; certains astérophyllites sont des

1. De καλαμος, roseau, δενδρον, arbre, *arbre articulé.*

rameaux de Calamodendron ou d'Arthropitus. Les entre-nœuds présentent des longueurs très variables; dans les régions de la tige dépourvues de rameaux, les articulations sont plus espacées, atteignant 15 à 40 centimètres; dans les parties, au contraire, qui en sont pourvues, les entre-nœuds se réduisent à quelques centimètres.

Les articulations ainsi rapprochées se succèdent quelquefois pendant longtemps et peuvent dépasser le nombre de cinquante; elles reprennent ensuite leur écartement primitif pour se rapprocher encore lors d'une nouvelle émission de rameaux.

Ces derniers sont tantôt disposés régulièrement en quinconce sur les articulations qui se suivent (Cal. congenium), tantôt ils n'apparaissent qu'à certains intervalles et sur un petit nombre d'entre elles (Cal. striatum).

Un certain nombre de troncs, désignés sous le nom de *Calamites cruciatus*, ne sont autre chose que des *portions* ramifères de tiges de Calamodendron..

La structure interne des tiges de Calamodendron nous est bien connue et peut servir plus sûrement que le nombre de rameaux insérés sur les verticilles, à établir des espèces.

Nous donnerons la description des deux espèces suivantes pour faire connaître les principaux caractères du genre.

Calamodendron striatum. Brongt, fig. 23.

Troncs cylindriques articulés, dépassant 8 à 10 mètres de hauteur, atténués en pointe aux deux bouts.

Les articulations inférieures sont le point de départ de racines verticillées ligneuses, celles de la partie supérieure de couronnes de rameaux caducs.

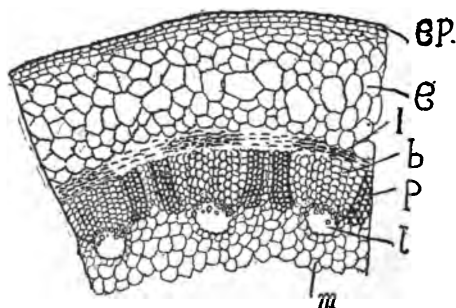


Fig. 23. — Calamodendron striatum. Brongt (rameau).

m, moelle. — *l*, lacunes renfermant des trachées adhérentes au bois secondaire. — *b*, bois secondaire. — *p*, gaîne prosenchymateuse. — *l*, liber secondaire. — *e*, assise cellulaire de l'écorce. — *ep*, assise subéreuse et épiderme.

Longueur des articulations inégales, distantes de quelques centimètres quand elles sont ramifères, et dépassant plusieurs décimètres quand elles sont dépourvues de rameaux; le nombre des arti-

culations fertiles superposées n'est jamais bien considérable; fréquemment, on rencontre des verticilles de rameaux isolés ; quand les rameaux sont nombreux, l'articulation suivante est raccourcie; sinon, l'articulation conserve à peu près la même longueur.

Sur une coupe transversale d'un rameau, fig. 23, le cylindre ligneux se montre formé de bandes rayonnantes alternativement plus foncées ou plus claires, d'inégale épaisseur; les plus larges correspondent au bois *b*, les secondes à du tissu prosenchymateux qui lui sert de gaîne.

Le bois est composé de trachéides rayées, séparées par des rayons médullaires, dont les cellules sont plus hautes que larges. Les coins ligneux sont munis, vers leur extrémité interne, d'une lacune occupée par un faisceau de trachées adhérant, dans les échantillons bien conservés, aux premiers éléments du bois secondaire; les parois de la lacune sont formées, du côté de la moelle, par deux ou trois couches de cellules allongées résistantes, sorte de liber interne, qui a protégé la lacune contre l'écrasement.

Chaque coin ligneux est garni latéralement d'une couches de cellules allongées *p*, terminées en pointe aux deux bouts, à parois épaissies disposées sur plusieurs rangs, sans interposition de rayons médullaires, et dont le diamètre est plus petit que le diamètre moyen des trachéides ligneuses.

Entre deux coins ligneux, il y a deux lames prosenchymateuses appartenant respectivement à deux coins voisins ; elles sont séparées l'une de l'autre par une bande assez épaisse de tissu fondamental secondaire.

Il n'y á pas de lacunes au bord interne des bandes prosenchymateuses.

La moelle volumineuse a disparu le plus souvent, son moulage a l'aspect d'une tige calamitoïde fortement contractée aux articulations ; cette particularité est due à ce que les coins ligneux, d'abord verticaux, s'infléchissent vers l'axe de la tige en s'approchant de l'articulation, puis s'en éloignent au-dessus pour reprendre leur direction verticale.

Chaque coin ligneux, comme cela se voit dans toutes les tiges de la famille, se divise à cette hauteur en deux branches qui s'écartent l'une de l'autre, pour aller se souder à l'une des branches du faisceau voisin, qui a subi la même division ; les deux branches réunies forment le coin ligneux de l'entre-nœud suivant ; par conséquent, les coins ligneux alternent régulièrement d'un article au suivant.

Lorsque l'articulation porte des rameaux, on voit un certain nombre de faisceaux ligneux s'infléchir, de manière que les extrémités semblent rayonner autour de l'axe du rameau et *concourir* à sa formation ; il est presque toujours possible de découvrir, au-dessous de l'insertion du rameau, une bande vasculaire correspondant à une feuille.

Le liber est formé d'éléments mous ; quelques cellules dissociées, remplies d'une matière brune, peuvent représenter soit des cellules grillagées, soit des cellules à gomme.

L'écorce du C. *striatum* est peu épaisse, elle est constituée par une couche de cellules parenchymateuses, une zone de cellules à parois minces, mais allongées, de quelques assises de tissu subéreux, enfin d'un épiderme que l'on voit assez nettement.

Le moulage extérieur de l'écorce ne peut pas présenter de stries longitudinales, la quantité de houille qu'elle a laissée n'est pas appréciable ; le bois, au contraire, en a produit de notables quantités ayant conservé l'organisation du bois bien reconnaissable.

Le C. *striatum* a été rencontré à Chemnitz (Saxe), au Val d'Ajol, à New-Paka (Bohême), à Grand-Croix près Saint-Etienne, à Commentry, dans les environs d'Autun, etc...,

Calamodendron congenium. Grand'Eury.

Cette espèce a atteint des dimensions plus considérables que le C. *striatum*.

La tige est articulée, les articulations sont tantôt presque égales en longueur dans certaines régions, tantôt très inégales. La distance de deux articulations peut dépasser soixante centimètres ; dans les parties du tronc portant les rameaux, les entre-

nœuds sont extrêmements courts, un centimètre et demi à deux centimètres, les articulations se succèdent nombreuses et riches en rameaux, dont les cicatrices sont disposées régulièrement en quinconce.

On peut compter quelquefois plus de soixante verticilles successifs.

Il n'est pas rare, à Commentry, de rencontrer des fragments de troncs de près de 1 mètre appartenant à cette région de la tige uniquement recouverts d'articulations de cette sorte, et souvent désignées sous le nom *spécifique* de *Calamites cruciatus*[1].

Le bois du C. *congenium* présente la disposition offerte par celui du C. *striatum*, sauf que les bandes ligneuses sont plus *étroites* que les bandes prosenchymateuses qui les accompagnent, ce qui est l'inverse dans le *C. striatum* les trachéides sont rayées et réticulées.

Le *Calamodendron congenium* se rencontre en grande quantité dans le bassin houiller de Saint-Etienne, à Avaise, Montrambert, Roche-la-Molière, dans les galets de Grand-Croix, à Commentry, etc.

Il ne se trouve pas dans les gisements silicifiés d'Autun, il paraît avoir une origine plus ancienne que le C. *striatum*.

La différence d'épaisseur entre les bandes li-

1. Le *Calamites cruciatus* n'est donc pas une espèce végétale.

gneuses et leur gaîne, qui distingue le *Cal. congenium* et le *Cal. striatum*, se conserve dans la houille provenant de leur bois, que ces bandes soient restées dans leur position rayonnante naturelle, ou que, sous la pression des terrains environnants, elles se soient repliées diversement en zigzag. L'épaisseur de la couche de houille peut atteindre 4 à 5 centimètres dans la première de ces espèces; elle est un peu plus faible dans la dernière, qui ne paraît pas avoir atteint une taille aussi élevée.

L'épaisseur moyenne d'un coin ligneux et de sa gaîne dans le C. *congenium* est de 0^{mm}, 55; dans le C. *striatum,* elle est de 1^{mm}, 3.

Racines des Calamodendron. — Une coupe tangentielle, faite dans le *bois* de la partie inférieure d'une tige de C. *striatum,* montre à la hauteur des articulations des sections de racines incluses dans le bois de la tige, par conséquent, sans doute possible sur leur dépendance réciproque.

La section est elliptique, le grand axe est vertical, la moelle volumineuse, à cellules polyédriques visibles à l'œil nu, disposées en files longitudinales.

Le contour de la moelle est très régulièrement ondulé, cet aspect est dû à la présence des faisceaux primaires centripètes triangulaires, disposés symétriquement autour de l'axe de la racine et

dont le nombre dépend du diamètre de la racine; entre eux, mais en retrait, se trouvent les lames de bois secondaire; ce retrait, combiné avec le relief des faisceaux primaires, détermine la forme

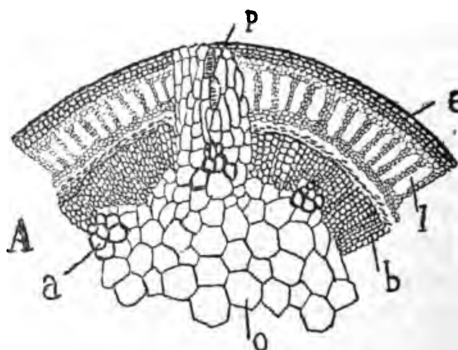


Fig. 24. — Racine de Calamodendron.

o, moelle à cellules volumineuses. — *a,* bois primaire de la racine. — *b,* bois secondaire. — *p,* radicelle. — *l,* lacunes corticales. — *e,* assise subéreuse.

étoilée offerte par une coupe transversale de la moelle. Dans les racines d'Arthropitus, nous avons vu que la forme étoilée était due au prolongement de la moelle entre les coins du cylindre ligneux secondaire.

Les lames de bois secondaire sont formées de trachéides rayées, ou réticulées, comme celles qui forment le bois secondaire des tiges d'où elles proviennent.

Dans les racines suffisamment grêles, on ne distingue que les faisceaux primaires entre lesquels apparaissent les premières trachéides du bois secondaire.

Dans les racines d'un diamètre plus grand, il peut arriver que chaque lame rayonnante secondaire vienne s'appliquer, en se contournant plus ou moins vers son extrémité, sur les côtes du triangle isocèle formé par la section du bois primaire; il en résulte que le cylindre ligneux paraît formé de coins de bois offrant deux régions distinctes intimement soudées, l'une, primaire, centripète; l'autre, secondaire, centrifuge et rayonnante, rappelant dans une certaine mesure l'organisation d'un rameau d'une plante *diploxylée*. Cette ressemblance est assez grande pour que certains paléobotanistes aient attribué aux Calamodendrées un bois centripète et un bois centrifuge.

La zone génératrice et les deux libers sont généralement détruits, mais souvent l'endoderme est intact. Contre lui s'applique une couche formée de trois ou quatre cercles concentriques de cellules volumineuses polyédriques allongées dans le sens de la circonférence; de cette assise partent, en forme de cloisons, fig. 24, des lames cellulaires rayonnantes comme celles des racines d'Arthropitus, laissant entre elles des méats *l* quadrangulaires disposés régulièrement.

Ces lames, qui figurent les rayons d'une roue,

sont formées en épaisseur de une ou deux rangées de cellules allongées dans le plan de la cloison, et viennent aboutir à une couche de cellules polyédriques, elle-même limitée par une assise subéreuse composée de quatre à cinq rangs de cellules quadrangulaires.

Les coupes transversales ou tangentielles faites dans les jeunes racines rencontrent très fréquemment des radicelles isolées, non disposées en verticille comme les racines qui s'insèrent sur les tiges mêmes des Calamodendron. Ces radicelles s'échappent perpendiculairement, leur cylindre ligneux ne renferme pas de moelle, car les faisceaux primaires, soudés entre eux, forment une masse centrale unique entièrement vasculaire ; le bois secondaire est continu et régulier. La région corticale présente les mêmes particularités que les racines plus grosses.

Le bois secondaire des racines principales pouvait atteindre un accroissement considérable, sept à huit centimètres en épaisseur.

Les racines des Calamodendron se présentent en empreinte comme de longs cylindres aplatis, entièrement dépourvus d'articulations ; la partie centrale est occupée par le moule de la moelle portant à sa surface des *cannelures* longitudinales continues : à l'extérieur de ce moule existe souvent une couche de houille, plus ou moins épaisse, formée par le cylindre ligneux, et plus en dehors,

de chaque côté, on remarque une large bande correspondant à l'écorce, qui n'a laissé qu'une faible épaisseur de houille à cause de sa structure molle et lacuneuse.

De ce qui précède, il résulte que les plantes appartenant aux trois genres *Bornia, Arthropitus* et *Calamodendron,* constituant actuellement la famille des Calamodendrées, possédaient des racines susceptibles d'acquérir une épaisseur de bois secondaire considérable, mais que leur écorce était remplie de lacunes aériennes dénotant un habitat dans l'eau ou la vase.

Fructifications mâles des Calamodendron, fig. 14, D.

Les épis mâles de certains Calamodendron se rencontrent dans les magmas silicifiés de Grand-Croix, près Rive-de-Gier, en fragments mesurant plus de 6 centimètres de longueur, et présentent un diamètre extérieur à peu près uniforme de 9 millimètres. Mais il y en a d'autres plus grêles qui ne présentent que un à deux centimètres de longueur.

L'axe articulé offre en petit la structure des tiges de Calamodendron, c'est-à-dire, est formé de coins de bois secondaire, alternant avec des bandes de tissu fondamental secondaire à cellules allongées. Chaque coin ligneux est muni, vers sa pointe interne, d'une lacune occupée partiellement par des trachées déroulées et est constitué par des

trachéides rayées, réticulées ou ponctuées, suivant l'espèce de Calamodendron, avec des rayons cellulaires intercalés.

De même que dans les épis mâles d'Arthropitus, on peut sur une coupe transversale distinguer des faisceaux principaux, et de petits faisceaux plus grêles placés de chaque côté des premiers et un peu plus en dehors.

Chez quelques-uns l'axe est formé de 8 faisceaux ligneux principaux, munis à leur extrémité d'une lacune bien visible ; les trachéides sont réticulées, de petits faisceaux ligneux, au nombre de 16, munis ou non de lacunes, forment une couronne très grêle discontinue en dehors du cercle des faisceaux principaux ; les 16 faisceaux sont en relation avec les bractées fertiles, qui sont au nombre de 16 également. Le long de l'axe se trouvent disposés très régulièrement à *chaque articulation* des bractées stériles, au nombre de 24, insérées, les unes en face des faisceaux principaux, les autres, en face des faisceaux plus grêles ; la marche des cordons foliaires qui pénètrent dans les bractées fertiles est la même que dans les épis d'Arthropitus ; comme dans ces derniers, les bractées fertiles sont insérées à peu près à égale distance de deux articulations qui portent les bractées stériles, au milieu de l'entre-nœud par conséquent ; mais dans les épis de Calamodendron, les bractées stériles sont en nombre plus petit que dans les épis d'Arthropitus.

D'abord horizontales, elles se redressent verticalement à une distance de 4^{mm} environ de l'axe, atteignent une hauteur de 1 centimètre dépassant le niveau de plusieurs verticilles superposés, la distance de deux articulations étant de 4^{mm} environ ; elles sont munies dans leur partie verticale d'une couche de cellules élastiques, mais ne se prolongent pas en dessous en onglet, comme les bractées des épis du genre précédent.

Les bractées fertiles, dont le nombre est double des coins ligneux principaux et les deux tiers seulement des bractées stériles, se dilatent à leur extrémité périphérique en disque peltoïde, renfermant une assise de cellules élastiques très développées ; on distingue quatre sacs, deux au-dessus, deux au-dessous du support, engagés dans la masse charnue du disque par leur base.

La hauteur des sacs est de $1^{mm},66$, leur épaisseur moyenne $0^{mm},5$, et leur longueur dans le sens du rayon $2^{mm},1$.

L'épiderme qui recouvre ces sacs est formé de cellules allongées suivant une de leurs dimensions, elles s'engrênent par leurs bords d'une façon assez compliquée et très solide. L'intérieur est tapissé par une couche de cellules à parois minces et généralement aplaties.

Les sacs renferment un grand nombre de grains arrondis identiques à ceux des épis d'Arthropitus, c'est-à-dire, soudés par quatre et constam-

ment enveloppés par les parois de la cellule mère qui se sont cuticularisées. Chaque grain est formé de deux enveloppes, que l'on peut considérer comme une *exine* et une *intine,* ou comme une *exospore* et une *endospore.* L'intine du grain renferme 8 à 10 cellules.

Les grains mesurent 0^{mm}, 045 et la cellule mère 0^{mm}, 09 de diamètre.

A la rupture des sacs, les grains s'échappaient par tétrade[1] enveloppée de la cellule mère.

Ces groupes se rencontrent non seulement autour des épis des Calamodendron, mais encore dans le *canal micropylaire* de certains *trigonocarpus,* et surtout dans la chambre pollinique du *Gnetopsis elliptica;* là ils étaient isolés, analogues par la forme et leur constitution à ceux qui constituent les tétrades, les parois de la cellule mère s'étaient dissoutes dans la chambre pollinique ; la dimension des grains encore réunis en tétrade est, avons-nous dit, 0,045 ; dans les ovules du *Gnetopsis elliptica* contenus dans leur ovaire, les mêmes grains mesurent 0^{mm}, 05 ; dans les graines libres et détachées, ils atteignent 0,06 ; ils ont donc augmenté un peu de volume dans la chambre pollinique.

1. Ce mode de groupement des grains et leur dissémination par tétrade se rencontre assez fréquemment parmi les plantes phanérogames actuelles, il suffit de rappeler les *Periploca,* les *Epacris,* les *Rhododendron,* les *Typha,* les *Leschenaultia,* etc.

Fructifications femelles des Calamodendrées, fig. 25.

Jusqu'ici on n'a pas encore rencontré les épis femelles des Calamodendrées dans un état de conservation irréprochable, par conséquent ce n'est qu'avec une certaine réserve que nous allons signaler les fructifications qui peuvent s'y rapporter. Voici quelques faits qui s'y rattachent.

Dans les couches du Culm de la Baconnière entre autres, au milieu de rameaux de *Bornia radiata*, on rencontre assez fréquemment de petites graines cylindriques, mucronées au sommet, fig. 25, G, *b d*, quelquefois costulées, mesurant les unes 4^{mm}, 5 de longueur et 1^{mm}, 7 de diamètre, les autres 7^{mm} de long et 3^{mm} de large.

Nous ne connaissons aucune plante autre que les Bornia, trouvée dans les gisements de la Baconnière, à laquelle on puisse rapporter ces graines que nous rangeons dans le genre Gnetopsis, avec le nom spécifique G. *primaeva*, comportant plusieurs variétés. Jusqu'à preuve contraire, on peut admettre que ces graines appartiennent à des plantes qui rentrent dans le genre Bornia.

Nous ajouterons que les gisements *silicifiés* d'Enost près Autun (Culm), viennent de nous fournir l'association de graines appartenant au groupe des Gnetopsis et des rameaux de *Bornia enosti*.

Dans les gisements de Grand-Croix, là où les débris de *Calamodendron congenium* sont en assez grand



Fig. 25. — Fructifications de Calamodendrées.

A, rameau feuillé de Calamodendron d'Eichweiler. — *a a*, graines accompagnant le rameau.

B, rameau fertile de Calamodendron portant à l'une de ses articulations un ramule, sur lequel est inséré l'inflorescence C.

D, inflorescence silicifiée de Grand-Croix grossie trois fois, d'aspect très analogue à la précédente.

E, coupe longitudinale de la même, dans l'intérieur on voit deux graines entourées de poils protecteurs et surmontées d'un appareil disséminateur aérien.

F., coupe transversale de la même montrant les deux bractées qui, en se soudant, ont formé une sorte de cavité ovarienne, l'une d'elle se divise en lanières distinctes.

G,*b, d, Gnetopsis primaeva*, B. R. de la Baconnière, plusieurs variétés trouvées au milieu de rameaux de *Bornia radiata*.

H, rameaux et bractées d'Arthropitus ; à l'une d'elles est *attachée* une graine *m* de *Gnetopsis augustodunensis*, B. R.

J, bractée d'apparence foliacée penninervée accompagnant et entourant les graines précédentes.

I, graine de la même espèce coupée transversalement et entourée presque complètement de la bractée protectrice.

nombre, se rencontrent des graines également de faibles dimensions, cylindriques, longues de 2^{mm}, 5 et larges de 1^{mm}, 2, fig. 33, A, et fig. 25, E, surmontées d'un appareil disséminateur divisé en plusieurs branches garnies de poils ; la chambre pollinique de ces graines renferme des grains de pollen arrondis mesurant 0^{mm}, 05 de diamètre, rappelant les grains contenus dans les tétrades, dont quelques-unes sont encore visibles au milieu des poils de l'appareil disséminateur ; le testa de ces graines désignées sous le nom de *Gnetopsis elliptica* présente dans son épaisseur et à différentes régions des lacunes aériennes, fournissant ainsi à la graine un deuxième moyen de dissémination, aquatique, au lieu d'être aérien.

Dans la fig. 25, nous donnons en A un fragment de rameau (grandeur naturelle) de *Calamo-*

dendron congenium ? d'Eichweiler, présentant quatre articulations.

A chacune d'elles se trouvent des feuilles aiguës longuement triangulaires, dressées contre le rameau, libres dans la plus grande partie de leur étendue, mais soudées à la base en une courte gaîne entourant l'articulation ; à côté et à gauche, on peut remarquer un certain nombre de graines *a* éparses, qui accompagnent le rameau sur la plaque de schiste.

Sur la même plaque, mais à son revers, se trouvent plusieurs rameaux de Calamodendron, qui offrent des particularités méritant d'être signalées ; nous avons représenté l'un d'eux en B. Les verticilles de feuilles ont disparu, mais à l'une des articulations, il est resté un rameau lui-même articulé et qui porte à l'un de ses nœuds des organes particuliers à bords dentelés, C.

Nous ne pouvons nous empêcher de comparer ces organes à ceux que nous avons décrits autrefois[1], et dont nous représentons une fig. en D, sous un grossissement de trois diamètres.

Nous donnons en E une coupe longitudinale, où l'on peut reconnaître la présence de deux graines *Gnetopsis elliptica,* dont une est représentée fig. 33, A.

Si le rapprochement que nous faisons est exact, certains Calamodendron, C. *congenium*, C. *stria-*

1. *Cours de botanique fossile,* 4e année, p. 179, 1885.

tum, auraient eu pour fructifications femelles des sortes d'ovaires, disposés en verticilles aux articulations, résultant de la soudure plus ou moins complète de bractées et renfermant plusieurs ovules.

Dans les gisements de Commentry, où les tiges

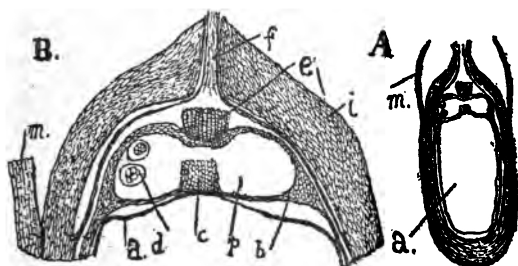


Fig. 26. — Gnetopsis augustodunensis.

A, *Gnetopsis augustodunensis* B. R. grossie 8 fois. Espèce de *Gnetopsis* trouvée fréquemment au milieu d'épis appartenant aux *Arthropitus* (gisements silicifiés d'Autun). — *a*, sac embryonnaire. — *m*, restes de l'appareil disséminateur.

B, partie supérieure de la même graine grossie 35 fois. *a*, membrane du sac embryonnaire. Le sac paraît surmonté d'une sorte de mamelon d'imprégnation C qui en réalité fait partie du nucelle. — *b*, nucelle creusé à sa partie supérieure d'une chambre pollinique *p*. — *d*, grains de pollen pluri-cellulaires logés dans la chambre pollinique. — *e*, autre mamelon en forme d'entonnoir surmontant le nucelle et permettant l'entrée des corpuscules mâles. — *f*, canal micropylaire. — *i*, tégument dur et coriace de la graine formé de cellules fortement incrustées à la maturité. — *m*, partie inférieure de l'appareil disséminateur qui n'a pas été conservé dans son entier.

de Calamodendron et d'Arthropitus sont fréquentes, on rencontre également deux autres espèces de Gnetopsis, le G. *trigona,* et le G. *hexagona,* B. R. R. Z., qui peuvent être rapportées aux plantes de ces deux genres.

A Autun, où les Arthropitus sont si communs à l'état silicifié et si nombreux en espèces à l'exclusion des Cordaïtes, où les graines sont si rares en espèces, nous ne connaissons à l'état silicifié que quelques *Trigonocarpus,* le *Cordaicarpus augustodunensis,* et un nombre relativement considérable de Gnetopsis, entre autres le G. *augustodunensis* B. R., fig. 26, A. B[1].

Cette espèce est cylindrique, mucronée au sommet, longue de trois millimètres et large de deux ; l'appareil disséminateur n'a pas été trouvé complet, le testa ne présente pas de lacunes aériennes. La chambre pollinique contient des grains arrondis pluri-cellulaires mesurant 0^{mm}, 06.

Cette espèce a été rencontrée assez fréquemment accompagnant des épis d'Arthropitus écrasés. Il nous a été impossible jusqu'ici d'établir les rapports exacts des différentes parties de ces épis, qu'une forte compression avait brisés ; cependant nous avons rencontré des graines, non seulement

1. Nous prenons *pour le moment* le mot Gnetopsis dans un sens familial en attendant que nous puissions préciser davantage la parenté de chaque espèce de graines.

en contact avec les bractées de ces épis, mais encore en continuité de tissu; la fig. 25, en H, montre en *m* une graine encore attachée à une bractée, les bractées ovulifères paraissent s'être soudées à la base en gaîne continue. S'il n'y a pas eu dérangement de l'ovule, son extrémité micropylaire était tournée du côté de l'axe.

Dans bien des cas, les ovules sont accompagnés et enveloppés partiellement de bractées penninervées. La figure J grossie quatre fois montre une de ces bractées, dont souvent il n'est resté que l'épiderme et les nervures. De nombreux grains de pollen se rencontrent à leur surface et dans leurs replis.

Dans les pages qui précèdent, nous avons esquissé les traits principaux qui caractérisent tout un groupe de plantes calamitoïdes que nous avons comprises sous le nom de Calamodendrées, les séparant nettement des tiges équisétiformes plus ou moins analogues d'aspect, désignées sous celui de Calamites, mais qui, dans la structure de leur tige, ne présentent que du bois centripète, sans traces sensibles de bois secondaire rayonnant centrifuge.

Nous terminerons l'étude des tiges articulées par la description de quelques plantes articulées également, mais non fistuleuses, différant par beaucoup de points importants des tiges équisétiformes précédentes.

III. Plantes a tige articulée non équisétiforme

Genre Sphenophyllum[1]. Brongt.

Le genre Sphenophyllum comprend des plantes herbacées, à tiges simples ou rameuses, grêles à surface marquée de sillons qui n'alternent pas d'un entre-nœud au suivant, comme chez les *Annularia* et les *Astérophyllites*. Sur les articulations fortement accusées sont placées des feuilles disposées en verticille, sessiles, en forme de coin, dépourvues de nervure médiane, mais parcourues par des nervures de même force, dichotomes. Les épis sont cylindriques, les bractées et les fructifications sont également disposées en verticille.

Le genre Sphenophyllum s'éloigne des Annularia et des Astérophyllites par les feuilles dépourvues de nervure médiane, par la disposition des rameaux qui sont solitaires aux articulations, et par la nature des sillons superficiels qui n'appartiennent qu'à l'écorce.

Les Sphenophyllum étaient des plantes aquatiques ou des plantes de marais, croissant en touffes épaisses, formant des espèces de buissons, comme les joncs de nos marais et pouvant, sui-

1. De σφην, coin, et φυλλος, feuille, feuilles triangulaires, en forme de coin.

vant le milieu et les conditions topographiques, être tantôt presque complètement immergées, tantôt aériennes. A côtés des feuilles typiques cunéiforme qui caractérisent l'espèce, on en trouve d'autres sur les parties immergées, plus découpées, laciniées à peu près comme on le voit aujourd'hui sur plusieurs espèces de *Batrachium*. Les divisions de la feuille devenues linéaires ne paraissent plus avoir qu'une seule nervure et rappellent quelque peu les feuilles aciculaires des Astérophyllites.

Le nombre des feuilles placées à chaque verticille est un multiple de 3, il peut être de 6, 9... 18 et plus.

Pour donner une idée plus complète du genre, nous donnerons la description et le dessin de l'espèce suivante.

Sphenophyllum angustifolium. Germar, fig. 27 et 28.

Feuilles longues, étalées, délicates, planes, bifides et trifides, à dents très aiguës, 2 à 4 nervures à la base. Les entre-nœuds sont souvent très courts et les feuilles dépassent toujours l'entre-nœud supérieur ; elles sont étroites, à pointes terminales linéaires et aiguës. Les épis sont allongés. Les macrosporanges globuleux, sessiles ; les microsporanges sont placés à une certaine distance de la base de la feuille et épiphylles.

A côté du S. *angustifolium* viennent se ranger

les S. *bifidum*, G. R., S. *stephanense* B. R., S. *quadrifidum* B. R.

Le S. *angustifolium* est commun à la partie



Fig. 27. — Sphenophyllum angustifolium.

supérieure du terrain houiller à Saint-Etienne, Grand'Croix (avec structure conservée), Commentry, etc...

Structure des tiges de Sphenophyllum.

La tige des Sphenophyllum est occupée à son centre par un faisceau ligneux triangulaire qui paraît unique, mais qui en réalité provient de la



Fig. 28. — Le même restauré, d'après Schimper.

soudure, par leur face ventrale, de trois faisceaux bi-centres ; les trachées sont situées aux arêtes du

prisme triangulaire, les trachéides du cylindre ligneux sont rayées et ponctuées.

En dehors de ce bois centripète se trouve une zone souvent épaisse de tissu rayonnant de formation secondaire composée de gros tubes à parois ponctuées et aréolées, de section plus petite dans la région qui correspond aux trois angles du bois centripète ; cette formation secondaire dénote pour les Sphenophyllum une organisation supérieure à celle des cryptogames ordinaires. Le liber est formé de tissu mou, de cellules grillagées. L'écorce épaisse présente plusieurs assises subéreuses et prosenchymateuses.

Les racines des Sphenophyllum offrent une lame centripète bi-centre et la même production *secondaire rayonnante*, extérieure, que l'on rencontre dans les tiges.

Fructifications.

Certains épis fructifères de Sphenophyllum paraissent n'avoir contenu que des organes mâles, d'autres porté seulement des organes femelles, enfin d'autres ayant réuni les deux.

Dans ces derniers, les microsporanges étaient épiphylles et occupaient la partie supérieure de l'épi, les macrospores étaient sessiles à l'aisselle des bractées, un faisceau vasculaire s'épanouissait à la base de la macrospore comme à la base d'un ovule ; cette disposition donnait à la macrospore

une fixité et une adhérence sur son support, qui fait qu'il n'est pas rare de trouver des épis renfermant un grand nombre de macrospores encore attachées.

L'organisation des macrospores des Sphenophyllum (encore mal connue) paraît avoir été supérieure à celle des macrospores ordinaires des cryptogames.

IV. Lepidodendron[1]. Sternberg.

Les Lepidodendron étaient des arbres atteignant souvent des dimensions considérables, 20 à 30 mètres de hauteur. Pendant presque toute leur existence, ils portaient à la surface des cicatrices bien reconnaissables.

Les cicatrices foliaires sont rhomboïdales, plus hautes que larges sur les troncs ; celles, au contraire, qui existent sur les rameaux, en même temps qu'elles sont plus petites, sont franchement rhomboïdales.

Généralement les cicatrices des mamelons[2] sont contiguës.

1. De λεπις, écaille, et δενδρον, arbre. Arbre à écorce portant des cicatrices de forme écailleuse.

2. On entend par mamelon l'ensemble des traces laissées par la base d'insertion de la feuille proprement dite, par son coussinet et par les appendices liguliformes que l'on voit quelquefois au-dessus de la feuille.

A la partie supérieure du coussinet se trouve la cicatrice laissée par la chute de la partie caduque de la feuille; cette cicatrice, qui n'occupe qu'une faible portion de la surface totale du mamelon, est beaucoup moins développée que celles laissées



Fig. 29. — Lepidodendron aculeatum.

par la chute des feuilles de Sigillaire. Dans les empreintes suffisamment nettes on reconnaît la présence de trois cicatricules, l'une centrale, allongée transversalement et lunulée, quelquefois punc-

tiforme; les deux autres latérales, toujours punctiformes et non disposées en forme de parenthèse comme celle des Sigillaires, la cicatricule centrale seule livrait passage à un faisceau vasculaire.

Au-dessous de la cicatrice foliaire, sur le coussinet, se voient très fréquemment deux autres cicatricules placées de chaque côté de la carène longitudinale qui parcourt le coussinet suivant sa longeur; la carène longitudinale est souvent marquée de plis transversaux.

Nous décrirons seulement quelques espèces de Lepidodendron.

Lepidodendron aculeatum. Stern. Fig. 29 et 30.

Mamelons rhomboïdaux, atteignant sur les grandes tiges 4 à 5 centimètres de longueur et 1 centimètre de largeur, bords latéraux arrondis, extrémités supérieure et inférieure infléchies en sens contraire, cicatrice foliaire placée un peu au-dessus du milieu de la hauteur du mamelon, aussi haute que large, à angle supérieur arrondi, à côtés inférieurs un peu concaves; carène très saillante marquée de plusieurs plis transversaux accentués; les lignes de décurrence partant des côtés supérieurs de la cicatrice foliaire descendent rapidement et se raccordent avec le contour du mamelon au-dessous de son milieu, vers le tiers ou le quart inférieur de sa hauteur. La cicatricule vasculaire est placée au-dessous du centre de la cicatrice foliaire,

accompagnée latéralement de deux cicatricules punctiformes; immédiatement au-dessous de la cicatrice foliaire, le coussinet présente deux fossettes ovales placées très près de la carène. Au-dessus de la cicatrice foliaire se trouve un pli transversal surmonté d'une languette que l'on a

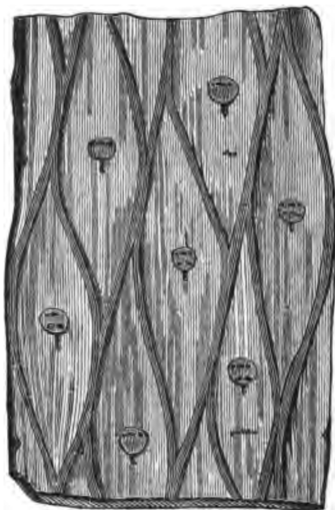


Fig. 30. — *Lepidodendron aculeatum* décortiqué.

considéré comme des traces ligulaires ; cette espèce se rencontre dans le terrain houiller moyen, à Vicoigne, Anzin, Aniche, etc.

Dans le *Lepidodendron quadratum*, Sch., fig. 31, les cicatrices sont rhomboïdales, presque carrées, entourées d'un sillon accentué ; munie d'une

carène saillante au milieu, la cicatricule du sommet est oblongue; cette forme de Lépidodendron se rencontre dans le terrain houiller inférieur, dans les anthracites du Roannais, le terrain houiller de Jöhgins au Canada.

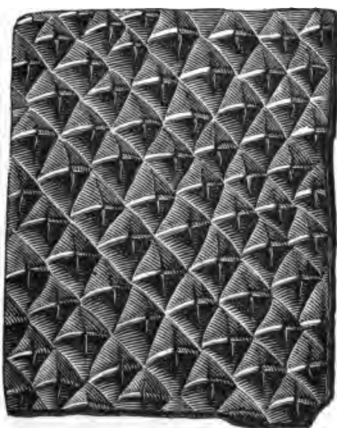


Fig. 31. — Lepidodendron quadratum.

Structure des tiges de Lepidodendron.

Les tiges de Lepidodendron offrent l'exemple de deux types différents par leur structure. Le premier est représenté par le L. *Harcourtii,* Witham; le second, par le L. *rhodumnense,* B. R.

Le L. *Harcourtii,* en coupe transversale, présente au centre une moelle développée, entourée d'un cylindre ligneux peu épais, uniquement cen-

tripète, formé de trachéides rayées disposées sans ordre et dont les plus volumineuses sont du côté de la moelle. Des faisceaux trachéens se trouvent à la périphérie, c'est contre eux qu'aboutissent les cordons foliaires, nombreux et disposés très régulièrement, B., *f*, fig. 32.

En dehors se trouve un tissu parenchymateux, renfermant de nombreuses lacunes, limité extérieurement par la partie la plus résistante de l'écorce, qui devient prosenchymateuse à la périphérie.

On y rencontre de nombreuses sections elliptiques disposées en quinconce, qui sont les coupes des faisceaux se dirigeant vers les feuilles.

Il n'y a aucune trace de bois secondaire rayonnant centrifuge.

Le *Lepidodendron rhodumnense,* C, fig. 33, en section transversale, offre un cylindre ligneux épais uniquement centripète, formé de trachéides rayées disposées sans ordre et dont les plus volumineuses sont au centre; la moelle manque complètement dans les rameaux. Les trachéides rayées, *t r,* ont leurs bandes transversales réunies par de fines bandes parallèles très régulières.

Les cordons trachéens sont à la périphérie du cylindre ligneux, les cordons foliaires *f* viennent s'y rattacher.

Le tissu lacuneux extérieur est généralement détruit.

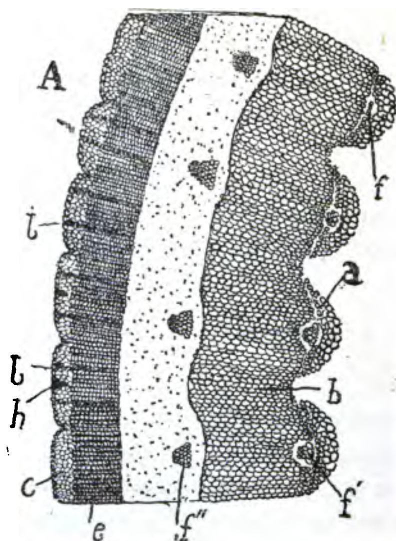
L'écorce *e*, très épaisse dans les vieux troncs, est formée de bandes sinueuses de tissu prosenchymateux qui s'entrecroisent en forme de réseau. Les moelles du réseau sont remplies de tissu cellulaire, dont les éléments sont à sections rectangulaires et à parois minces. Cette assise de l'écorce, très résistante, rappelle par sa structure la partie correspondante subéreuse des écorces de Sigillaires du groupe des Leiodermariées.

Feuilles des Lepidodendron.

Les feuilles de Lepidodendron sont aciculaires, plus ou moins longues suivant les espèces ; elles sont insérées, comme nous l'avons dit, à la partie supérieure du coussinet, leur section à diverses hauteurs est rhomboïdale, A, fig. 37, à grande diagonale transverse. Elles sont marquées d'une arête saillante à la face supérieure et à la face inférieure, cette dernière porte de chaque côté de la côte médiane deux rainures longitudinales, probablement stomatifères.

Au milieu de la section, G, fig. 37, se trouve un faisceau vasculaire dont le bois est formé d'une *seule* bande de fines trachées et de trachéides rayées et ponctuées.

Cette bande est entourée par une très mince couche de cellules parenchymateuses qui peuvent être regardées comme la partie libérienne. Elle est de son côté entourée de cellules plus fortes


A
i
l
h
c
e
f''
f
a
b
f'

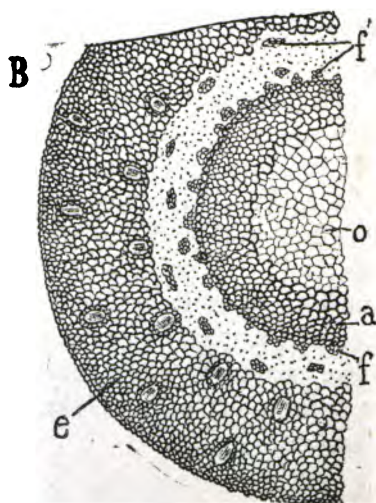

B
f'
o
a
f
e

Fig. 32. — Coupes transversales d'une tige de Sigillaire *S. Menardi* et d'une tige de Lepidodendron *L. Harcourti* figurées comme termes de comparaison.

A. Coupe transversale d'une tige de Sigillaire à écorce lisse. *a*, bois centripète. — *b*, bois centrifuge. — *f*, *f'*, faisceaux foliaires naissant entre les deux bois et à divers états de développement. — *f''*, faisceaux foliaires se dirigeant verticalement entre le bois et l'écorce. — *e*, partie subéreuse de l'écorce. — *c*, partie cellulaire plus extérieure développée surtout aux coussinets foliaires. — *j*, traces des arcs latéraux (appareils sécréteurs). — *h*, traces du faisceau vasculaire central.

B. Coupe transversale d'une tige de Lepidendron *Lep. Harcourtii*. *o*, moelle centrale. — *a*, bois centripète. — *f*, faisceaux foliaires à différents états de développement. — *e*, écorce parenchimateuse à l'intérieur, fibreuse à l'extérieur, parcourue par de nombreux cordons foliaires. Il n'y a pas de bois rayonnant centrifuge.

sclérenchymateuses, formant une gaîne continue. Il n'y a aucune trace de bois rayonnant centrifuge.

Plus en dehors s'étend le mésophylle, sous la forme d'une couche épaisse de parenchyme ; il est limité par un épiderme formé d'une rangée de cellules.

Racines des Lepidodendron.

Les racines de Lepidodendron sont cylindriques dichotomes, munies à leur partie centrale d'un faisceau triangulaire D, *a,* fig. 37, analogue à celui des racines de Selaginelle ; lorsque la racine se dichotomise, le faisceau se sépare, G, *a,* en deux parties égales qui se dirigent chacune dans une branche.

Le faisceau est entouré d'une gaîne continue sclérenchymateuse ; plus en dehors se trouve une couche épaisse de tissu lacuneux, limité par une couche subéréfiée épaisse et résistante. Nous parlerons plus loin des rhizomes des Lepidodendron.

Fructifications des Lepidodendron.

Les fructifications des Lepidodendron, désignées sous le nom de *Lepidostrobus,* avaient la forme de cônes ovoïdes, ou cylindriques plus ou moins allongés, portés à l'extrémité des rameaux.

Tantôt ils ne renfermaient que des *microspo-*

ranges ou des *macrosporanges ;* tantôt ils contenaient les deux sortes d'organes réunis, mais alors les microsporanges étaient placés à la partie supérieure de l'épi ; les macrosporanges, au contraire, en occupaient la partie inférieure.

Comme exemple, nous donnons en B, fig. 33, la coupe du *Lepidostrobus rhodumnense* B. R. restauré. L'axe de l'épi, occupé par un cylindre ligneux plein centripète, est constitué comme celui des rameaux, il est entouré par une série de bractées coriaces, disposées en spirale, présentant une section transversale rhomboïdale ; la grande diagonale est horizontale, les bractées s'écartent de l'axe d'abord horizontalement, puis elles se redressent en haut pour recouvrir plus ou moins les bractées placées au-dessus. L'arête supérieure de la partie horizontale de la bractée porte la base d'insertion longitudinale du sporange. Le faisceau vasculaire central de la bractée est bicentre, sans bois centrifuge.

Les sporanges supérieurs renferment des microspores *m* groupés en tétrade entourée d'une sorte d'anneau élastique, qui à un moment donné déterminait la séparation des spores *n*. Celles-ci se débarrassaient ensuite de la portion d'anneau qui pouvait leur rester adhérent et devenaient plus ou moins sphériques *o*. Une division cellulaire déjà indiquée en *n* devient plus apparente quand elles ont atteint cette dernière forme.

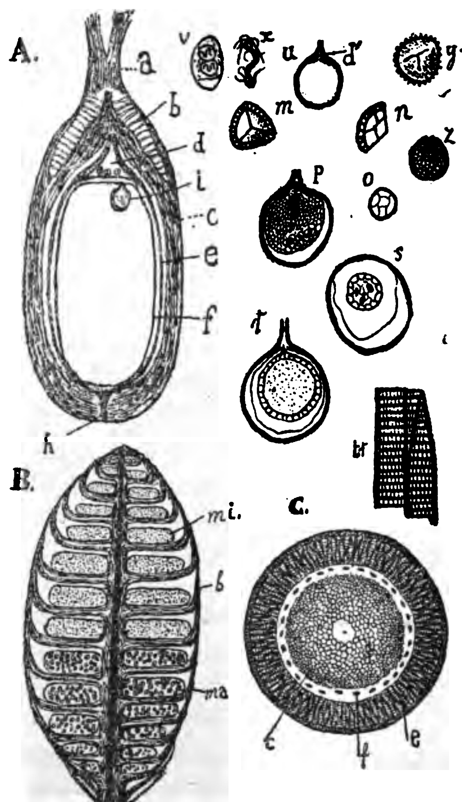


Fig. 33.

A. Gnetopsis elliptica B. R. R. Z., graine appartenant à une Calamodendrée ? *a*, appareil disséminateur aérien, plusieurs fois bifurqué et plumeux. — *b*, appareil disséminateur aquatique. — *c*, testa de la graine. — *e*, membrane du nucelle. — *d*, chambre pollinique creusée dans le nucelle renfermant des grains de pollen. — *f*, enveloppe du sac embryonnaire. — *i*, un des archégones placés au sommet du sac embryonnaire. — *h*, faisceau chalasien dont les ramifications s'élèvent jusqu'à la chambre pollinique.

B. Cône de Lepidodendron. Les bractées, disposées en spirales, portent à la face supérieure des microsporanges *mi* au sommet du cône et des macrosporanges *ma* à la base.

C. Coupe transversale réduite d'une tige de *Lepidodendron rhodumnense*. *c*, bois centripète épais avec moelle très réduite. — *f*, faisceaux vasculaires foliaires naissant de la périphérie du cylindre ligneux. — *e*, écorce épaisse formée de tissu prosenchymateux et de suber. — *tr* trachéides rayées dont les ornements linéaires ordinaires sont eux-mêmes réunis par des ornements linéaires parallèles secondaires.

m, tétrade formée de 4 microspores, entourée d'un anneau élastique.

n, une microspore isolée cloisonnée. — *o*, autre microspore devenue sphérique après la disparition de la portion d'anneau.

p, macrospore de *L. rhodumnense*, l'enveloppe est remplie par le prothalle au sommet duquel on voit un archégone. — *r*, *s*, divers états de la macrospore fécondée. — *u*, macrospore montrant à son sommet une sorte de canal micropylaire et de chambre sporéique.

v, microspore d'Isoëtes. — *x*, anthérozoïde cilié aux deux extrémités. — *y*, macrospore d'Isoëtes. — *z*, prothalle femelle inclus renfermant un archégone.

Les sporanges inférieurs contiennent des macrospores beaucoup plus volumineuses que les microspores, elles atteignent 0^{mm}, 8, tandis que les microspores libres ne mesurent que 0^{mm}, 045. Les macrospores ont une enveloppe coriace, résistante, de forme ovoïde, surmontée d'une sorte de canal *u, d'* et de cavité sporéique ?

L'intérieur de la macrospore est rempli complètement par le prothalle *p*, au sommet duquel on distingue un archégone; le col de l'archégone s'engageait plus ou moins dans le canal micropylaire par où pouvaient pénétrer soit les anthérozoïdes, soit même, comme nous l'avons constaté, la microspore.

Après la fécondation, l'œuf développé *r, s* prenait une forme sphérique limitée par un épiderme épais, et pouvait attendre ainsi un temps plus ou moins long, la dissémination de cette *sorte* de *graine.*

Les *Lepidostrobus rhodumnense* que nous avons recueillis présentaient souvent un mélange intime des macrospores et des microspores, déterminé par la rupture des enveloppes des macrosporanges et des microsporanges, après la chute sur le sol humide des cônes détachés.

V. SIGILLAIRES [1].

Comme les Lepidodendron, les Sigillaires forment une des plus importantes familles végétales qui ont vécu dans les temps anciens, soit en raison de la taille et du nombre immense de leurs représentants, soit à cause de l'organisation curieuse qui les distingue et en fait des types intermédiaires, sur la classification desquels on discute toujours.

Elles ont formé de vastes forêts, dont quelques-unes mises au jour par divers travaux de chemin de fer, ont montré des troncs de grand diamètre et encore enracinés.

Leur tronc est cylindrique, simple ou plusieurs fois dichotomes au sommet, à surface lisse ou cannelée, ornée de cicatrices laissées par la chute des feuilles placées en lignes verticales ou en spirales régulières.

Cylindre ligneux diploxylé, bois centrifuge composé de lames de trachéides rayées disposées en séries rayonnantes et séparées par des rayons médullaires, bois centripète formé soit par des faisceaux isolés, soit par une couronne continue.

1. De *sigillum*, sceau, cachet, à cause de la forme particulière des cicatrices foliaires qui ressemblent aux empreintes que l'on obtient à l'aide d'un sceau ou d'un cachet.

Écorce épaisse, parcourue verticalement, puis obliquement, par de nombreux faisceaux vasculaires qui se rendaient aux feuilles, parenchymateuse à l'intérieur, mais formée à l'extérieur d'une couche épaisse de prosenchyme et de suber.

Racines épaisses, charnues, plusieurs fois dichotomes, s'étendant horizontalement, environnées de radicelles, longues, simples ou bifurquées, charnues, disposées régulièrement en spirales, laissant des cicatrices circulaires, ombiliquées.

Feuilles linéaires, longues, triangulaires, laissant sur la tige, après leur chute, des cicatrices ovales, rondes, exactement rhomboïdales, ou rhomboïdales transverses; hexagonales, marquées de trois cicatrices lunulées; celle du centre due au faisceau vasculaire, les deux latérales disposées en forme de parenthèse correspondent à des appareils sécréteurs qui traversent la portion sclérifiée de l'écorce.

Fructifications spiciformes.

La famille des Sigillaires comprend les genres suivants :

1. S. F. Tiges à écorce lisse	Cicatrices contiguës	G. Clathraria, Brongt.[1].
	Cicatrices distantes	G. Leiodermaria, Gold.[2].

1. De *clathrum*, treillis, à cause des cicatrices contiguës disposées en quinconce et présentant la disposition des mailles d'un grillage.

2. De λειος, uni, lisse, et δερμᾶ, écorce, allusion à l'écorce généralement lisse.

2. S. F. Tiges à écorce cannelée	Côtes simples	
	Cicatrices contiguës	G. Favularia, Brongt.[1]
	Cicatrices distantes	Rhytilolepis, Sternb.[2]
	Côtes multiples	
	Cicatrices distantes	Polleriana, Brongt.

Nous décrirons seulement les espèces suivantes :

GENRE CLATHRARIA. Brongt.

Dans ce groupe, les coussinets qui supportent les cicatrices des feuilles sont contigus. Les sillons, placés entre les reliefs des coussinets, forment deux spirales croisées à angles aigus. L'assise prosenchymateuse de l'écorce est lisse à l'intérieur, tandis que dans les genres *Favularia Rhytidolepis, Polleriana,* les côtes longitudinales de la surface se retrouvent à l'intérieur de cette même assise.

Sigillaria Brardi. Brongt.

Coussinets rhomboïdaux allongés transversalement, les angles latéraux aigus, les angles supérieurs et inférieurs arrondis, placés obliquement sur la tige, mesurant environ 12 à 15^{mm} en largeur et 8 à 10 en hauteur ; cicatrices foliaires rhom-

1. De *favulus,* hexagone, à cause de la forme hexagonale des cicatrices contiguës.

2. De ῥυτις, ride, et λεπις, écorce. Les écorces présentent souvent des rides longitudinales.

boïdales, arrondies en dessous, échancrées en dessus, larges de 10^{mm} et hautes de 7^{mm} environ sur les tiges ordinaires.

Cette espèce présente fréquemment des cycles successifs de cicatrices d'insertion d'épis disposés en spirale régulière. Elle offre aussi fréquemment l'exemple de dichotomies multiples, la partie supérieure du tronc, plus ou moins ramifiée, se présente souvent garnie de feuilles entremêlées d'épis.

On la rencontre dans le terrain houiller supépérieur à Wettin (Saxe), St-Etienne, Autun, etc.

GENRE LEIODERMARIA. Goldenberg.

Dans ce genre, l'écorce est quelquefois marquée de rides qui contournent plus ou moins les cicatrices, dues à la structure réticulée de la partie subéreuse de l'écorce.

Les cicatrices, plus ou moins éloignées suivant les espèces, sont placées régulièrement en quinconce.

Sigillaria spinulosa. Germar (fig. 34).

Écorce portant des stries sinueuses, contournant les cicatrices sur les tiges âgées, lisse sur les jeunes, cicatrices également distantes en hauteur et en largeur sur les premières, mais plus rappro-

chées dans le sens de la hauteur sur les secondes; disposées régulièrement en quinconce, rhomboïdales arrondies en dessous, légèrement échancrées en dessus, terminées en pointe latéralement; les bords supérieurs de la cicatrice sont renflés en bourrelet, les deux arcs lunulés leur sont presque parallèles, la cicatrice du faisceau est arquée, concave en dessus.



Fig. 34. — *Sigillaria spinulosa, Germar* (Échantillon silicifié d'Autun).

Souvent on remarque, placés assez irrégulièrement entre les cicatrices, de petits tubercules arrondis qui paraissent être les traces laissées par des racines adventives.

Les tiges quelquefois présentent des cicatrices arrondies, disposées en spirale à tours espacés, qui ont été déterminées par la chute d'organes reproducteurs.

L'ordre phyllotaxique des cicatrices est troublé

dans leur voisinage, les cicatrices foliaires sont d'abord un peu plus distantes immédiatement au-dessus du cycle, mais plus haut elles sont plus rapprochées, comme si la végétation de la tige avait été ralentie; elles reprennent ensuite leur distance primitive.

Cette espèce se rencontre fréquemment à Löbejun (Saxe), Saint-Etienne, Autun, etc.

Genre Favularia. Brongt.

Ce genre est caractérisé, comme nous l'avons dit, par des côtes plus ou moins saillantes, contiguës, sur lesquelles sont placées les cicatrices également contiguës laissées par la chute des feuilles.

Sigillaria tessellata. Brongt, fig. 35.

Cicatrices hexagonales régulières, hautes de 8 à 10^{mm} et larges de 6 à 8; les trois cicatricules sont très visibles.

L'échantillon figuré, partiellement décortiqué, montre à la fois le S. *tessellata*, le S. *microstigma* et le *Syringodendron pachyderma*, trois espèces regardées autrefois comme distinctes.

Le S. *tessellata* est commun à Saarbruck, Essen, Zwickau, Alais, etc. Les troncs de cette espèce

portent très souvent des cicatrices de strobiles fructifères.

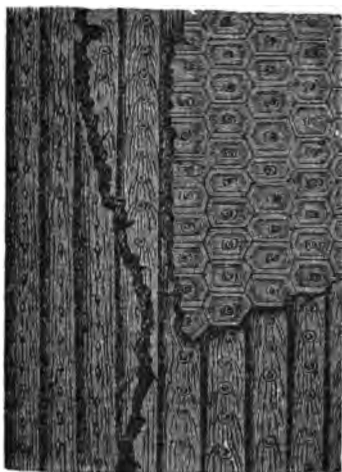


Fig. 35. — *Sigillaria tessellata,* Brongt.

GENRE RHYTIDOLEPIS. Sternberg.

Sigillaria Davreuxi. Brongt, fig. 36.

Cicatrices ovales, tronquées en haut, faisant un léger relief au-dessus de l'écorce, produisant dans le sens vertical des sortes de côtes demi-cylindriques, séparées par un sillon sinueux; longues de 8^{mm} et large de 5 environ à la base, distantes

les unes des autres de 2 à 3^{mm}, et disposées régulièrement en quinconce. Se rencontre dans le terrain houiller de Liège.



Fig. 36. — Sigillaria Davreuxi, Brongt.

Structure de la tige des Sigillaires

A. — Les Sigillaires à écorce lisse, A, fig. 32, présentent dans leurs tiges l'organisation suivante :

1° Un bois centripète *a,* dont les trachées sont extérieures, disposé en faisceaux séparés à section lunulée ; les éléments disposés sans ordre sont rayés et réticulés.

2° Un bois centrifuge, formé de trachéides rayées disposées en séries rayonnantes séparées par des rayons médullaires.

3° De nombreux cordons foliaires aboutissant entre les deux bois *f, f'* et dont le développement, d'abord uniquement centripète, est suivi plus tard de formations de bois secondaire centrifuge *f''*.

4° D'une zone génératrice formant, pendant toute la vie de la plante, du bois secondaire rayonnant à l'intérieur et du liber mou à l'extérieur.

5° D'une écorce épaisse formée d'une assise cellulaire à l'intérieur, et d'une assise beaucoup plus résistante en dehors, composée d'éléments sclérifiés ou de suber.

Les coussinets étaient charnus, et de chaque côté de la cicatricule vasculaire se trouvaient deux arcs latéraux, correspondant à deux appareils sécréteurs, qui prenaient une extension énorme dans les vieilles tiges (Syringodendron).

B. — Les Sigillaires à écorce cannelée, plus anciennes dans leur apparition sur la terre, se rapprochent davantage des plantes cryptogames par l'organisation de leur tige.

Des Lepidodendron elles possèdent l'anneau de bois centripète continu, et des plantes phanérogames gymnospermes le cylindre ligneux rayonnant extérieur, mais composé de trachéides rayées. De nombreux cordons foliaires naissant entre les deux bois parcourent le cylindre ligneux extérieur,

Fig. 37. — Organes divers de Sigillaires et de Lepidodendron.

A. Feuille de Lepidodendron avec ses trois cicatrices punctiformes visibles à la base. *a*, les deux rainures latérales placées au-dessous de la feuille.

B. Feuille de Sigillaire avec ses trois cicatrices arquées visibles à la base. *a*, les deux rainures latérales stomatifères partant latéralement de la base et allant jusqu'au sommet.

C -D. Racines de *Lepidodendron Enosti.*

E. Racine de stigmarhizome tricentre. *a*, bois centripète. — *t*, trachées.

F, cordon foliaire de stigmarhizome. *a*, bois centripète. — *b*, bois centrifuge. — *t*, trachées placées entre les deux bois.

G. Section transversale d'une feuille de *Lepidodendron selaginoïdes*. *a*, faisceau bipolaire. — *c*, rainures longitudinales.

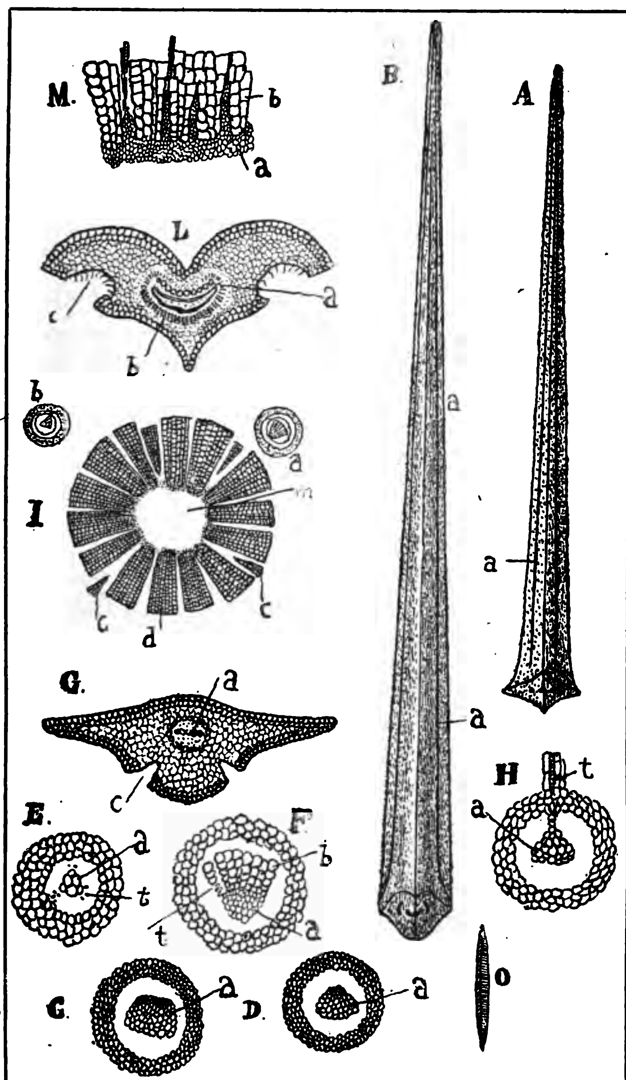
H. Racine de *Stigmarhizome*. *a*, bois centripète tricentre. — *t*, radicelle partant de l'un des angles du bois centripète.

I. Coupe transversale d'un stigmarhizome de sigillaire cannelée. *a*, appendice foliaire. — *b*, appendice radiculaire, — *c*, cordon foliaire. — *d*, bois centrifuge. — *m*, partie médullaire.

M. Stigmarhizome de Sigillaire cannelée, partie centrale. — *b*, bois centrifuge. — *a*, bois centripète.

L. Coupe transversale d'une feuille de Sigillaire. *a*, bois cryptogamique. — *b*, bois phanérogamique rayonnant. — *c*, rainures longitudinales garnies de stomates.

O. Trachéide rayée de sigillaire.


M.
b
a
L
a
c
b
b
a
I
m
c
c
d
G.
a
c
B.
a
a
A
a
H
t
a
E.
a
t
F
b
t
a
C.
a
D.
a
o

l'écorce, et viennent aboutir à la base des feuilles. L'écorce est formée d'une assise intérieure parenchymateuse et d'une assise externe de cellules allongées sclérifiées.

Structure des feuilles des Sigillaires, B, fig. 37.

Les troncs de Sigillaires simples ou dichotomes portaient des feuilles longues, étroites, à section triangulaire, appliquées contre la tige, et que l'on a comparées assez justement à cause de leur forme à des lames de fleuret. Quand elles sont entières, elles portent à la base la forme de la cicatrice qu'elles ont laissée sur les tiges, forme qui a valu aux Sigillaires le nom qu'elles ont reçu.

Les feuilles sont munies d'une rainure à leur face supérieure L, ce qui les distingue des feuilles de Lepidodendron G, qui possèdent au contraire une côte saillante ; ce n'est pas au reste la seule différence qui existe entre les organes. Sur la coupe transversale L nous voyons, en outre du bois bi-centre cryptogamique *a,* une bande extérieure enveloppante *b,* formée de bandes rayonnantes que l'on peut comparer au bois rayonnant secondaire des phanérogames.

Les feuilles des Lepidodendron en sont complètement dépourvues. A la face inférieure des feuilles de Sigillaires, on remarque toujours deux gouttières latérales *a,* fig. B, et *c,* fig. L, garnies de poils et de stomates. Les bords de la feuille

s'enroulaient plus ou moins en dessous, de façon à fermer ou ouvrir les gouttières longitudinales, et à



Fig. 38. — Stigmaria muni de ses appendices.

permettre le fonctionnement plus ou moins actif des stomates.

Rhizomes.

Les Sigillaires présentent non seulement un port extraordinaire, qu'aucune plante actuelle n'offre à nos regards, mais elles sont intéressantes à plus d'un autre titre ; pour le moment nous ne rappellerons que la curieuse particularité suivante :

A leur base, les troncs de Sigillaires étaient terminés par de grosses branches dichotomes rapidement décroissantes et formant les racines de ces plantes, vivant à moitié plongées dans les sables et la vase.

Ces sortes de racines aquatiques étaient munies d'appendices articulés, fig. 38, longs de plusieurs décimètres cylindriques, de mêmes dimensions, disposés avec la plus grande régularité en lignes spirales sur les branches décroissantes des racines. Les cicatrices laissées par ces organes sont circulaires, plus ou moins enfoncées dans l'assise corticale extérieure et marquées au milieu d'une dépression correspondant au faisceau vasculaire central.

Ces radicelles faciles à désarticuler, charnues, avaient besoin d'un milieu approprié pour pouvoir se développer et se maintenir.

Les troncs de Sigillaires trouvés debout sont assez nombreux. Les terrains houillers de diverses localités — Commentry, Saint-Etienne, Bessèges, etc. — en offrent de nombreux exemples

encore munis de leurs racines singulières, et l'on peut, en jetant les yeux sur la fig. 39, se rendre compte assez bien de l'aspect que présentait la partie inférieure de la tige plongée dans les terrains marécageux, si communs à cette époque.

Mais les Sigillaires ne s'élevaient pas toujours en longue colonne cannelée ou à surface lisse, portant des cicatrices dont la régularité et l'élégance pourraient défier la main du plus habile sculpteur.

Souvent elles ne sortaient pas des eaux et leur vie était purement aquatique.

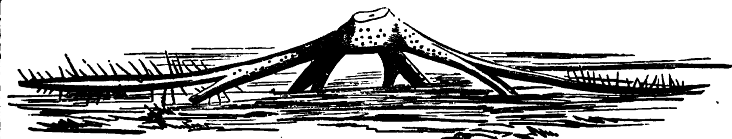


Fig. 39. — Stigmaria en place d'après Schimper.

Lorsque certaines conditions favorables se présentaient, s'élançant hors des eaux, leur tige devenait aérienne et présentait non plus les cicatrices uniformes des Stigmaria, mais revêtait celles beaucoup plus variées que nous avons décrites et laissées par les feuilles aériennes.

Lorsque les tiges des Sigillaires poussaient dans les eaux et constituaient des rhizomes aquatiques, elles présentaient les particularités suivantes.

Elles formaient d'immenses troncs cylindriques

de quelques décimètres seulement de diamètre, mais atteignant quinze à vingt mètres de longueur. sans changement de grosseur, présentant qnelques dichotomiés à leur extrémité.

La partie postérieure de ces rhizomes était garnie de cicatrices arrondies analogues à celles figurées, fig. 37, mais n'occupant plus un ordre phyllotaxique très régulier.

La partie antérieure, au contraire, montre les cicatrices disposées dans un ordre parfait et souvent ornées de leur appendice.

Les rhizomes des Sigillaires cannelées I, fig. 36, conformés comme les tiges cannelées, contiennent à leur partie centrale un cylindre ligneux *continu centripète* M, *a,* fig. 37, formé de trachéides rayées très grêles disposées sans ordre, dont les lames s'engagent entre celles du bois secondaire rayonnant extérieur *b,* et aboutissent aux cordons *foliaires* ou radiculaires *c, a, b,* I, fig. 37.

Dans les figures P et E, nous donnons les détails intéressants sur la constitution du faisceau vasculaire de ces deux sortes d'appendices de forme extérieure semblable, mais physiologiquement différents.

Les rhizomes de Sigillaires à écorce lisse rappellent par leur organisation celle de la tige correspondante. En effet, le cylindre ligneux centripète, au lieu de former un cylindre continu comme celui des Sigillaires cannelées, est disposé en îlots

distincts analogues à ceux des tiges à écorce lisse A, fig. 32, *f*. Les cordons foliaires aboutissent dans l'intervalle du bois centripète et du bois centrifuge, secondaire, extérieur.

La partie antérieure du rhizome ne portait que des feuilles; de là l'ordre parfait que l'on remarque dans la disposition des cicatrices; à une certaine distance apparaissaient les radicelles, dont l'intercalation amenait un trouble dans la disposition des cicatrices primitives.

Dans la partie ancienne du rhizome, là où les appendices sont tombés, on a sous les yeux tout à la fois les cicatrices des appendices foliaires et celles des appendices radiculaires qui se sont développés postérieurement entre les premiers.

On peut admettre que, suivant les circonstances, après la germination, les Sigillaires se développaient en tiges aériennes, ou bien sous la forme de longs rhizomes, croissant dans les sables humides, dans la vase ou même flottant dans l'eau. La vie des Stigmaria s'est bornée sans doute pendant longtemps à la production illimitée de ramifications dichotomes, dont la partie cylindrique simple se détruisait à mesure.

Dans les couches géologiques les plus anciennes, on ne rencontre que des troncs de Stigmaria sans trace aucune de tige de Sigillaire; il est vraisemblable que ce mode de végétation des Sigillaires seul a existé. Les sigillaires restaient à l'état de

rhizomes ou *Stigmarhizomes*. Mais, à un moment donné de l'existence de la famille, rarement d'abord dans les premiers temps de la vie végétale sur notre planète, plus fréquemment ensuite, quand les terres furent moins souvent inondées et le milieu extérieur plus favorable, l'extrémité du rhizome se relevait en bourgeon aérien, prenait un rapide accroissement en diamètre, et alors se dressaient hors des eaux ces belles tiges à surface régulièrement cannelée, ou à écorce lisse ornée à leur sommet d'une touffe de feuilles triangulaires, rigides, aiguës, entremêlées d'épis reproducteurs.

Organes reproducteurs des Sigillaires.

Les organes reproducteurs femelles de certaines Sigillaires cannelées d'après Goldenberg, M. Zeiller, etc., étaient contenus dans des épis allongés, munis de bractées, canaliculées en dessus, lancéolées, atténuées en pointe au sommet. Entre les bractées et à leur base se trouvent des corps ronds de près de deux millimètres de diamètre, triradiés, ressemblant beaucoup aux macrospores des Isoëtes *y*, Z, fig. 33.

Les organes mâles des Sigillaires de ce groupe ne sont pas connus.

Les organes reproducteurs femelles des Sigillaires à écorce lisse n'ont pas encore été rencontrés.

Mais, en revanche, on possède quelques épis mâles se rapportant aux Sigillaires de cette section.

Les bractées disposées en faux verticilles sur l'axe, sont d'abord horizontales, puis, redressées, elles présentent les caractères généraux que nous avons reconnus aux feuilles de Sigillaires. A leur base se trouvent en grand nombre des sacs ovoïdes mesurant 0^{mm}, 8 à 0^{mm}, 9 de largeur, contenant des granulations jaunes, atteignant 0^{mm}, 18 à 0^{mm}, 20 de diamètre, mille fois plus grosses que les microspores des Lépidodendrées ; ces granulations ont plus d'analogie avec des grains de pollen, qu'avec des microspores.

Nous reviendrons un peu plus loin sur la question des fructifications des Sigillaires, qui, de même que celle des Calamodendrées, touche à un des points les plus intéressants de l'évolution suivie dans le règne végétal.

Les familles que nous venons d'étudier rapidement, Calamodendrées, Lepidodendron et Sigillaires, ne sont pas parvenues jusqu'à nous, elles se sont éteintes pendant les époques primaires. Celles dont nous allons dire quelques mots se sont prolongées à travers les âges, et nous en retrouvons les représentants plus ou moins perfectionnés ou amoindris, au milieu de beaucoup d'autres qui paraissent être d'une origine plus récente, plus aptes à supporter le climat actuel de notre planète, et qui ont par cela même une prépondérance des plus marquées.

VI. Classe des Fougères.

La classe des Fougères forme un grand groupe naturel qui occupe sans contredit le premier rang parmi les cryptogames vasculaires, soit au point de vue de l'élégance, soit sous celui de la multiplicité des formes.

Ce sont des plantes vivaces, herbacées, ou quelquefois arborescentes, très rarement annuelles, le plus souvent terrestres, quelquefois aquatiques; leur taille varie de quelques centimètres (certaines espèces d'*Hymenophyllum*) à 15 ou 25 mètres, *Cyathea glauca*.

Tantôt les tiges forment dans le sol un rhizome croissant par son extrémité antérieure, et se détruisant graduellement par son extrémité postérieure; tantôt les tiges rampent à la surface des pierres ou des rochers, ou bien encore le long des plantes ligneuses voisines, de manière à les entourer et à devenir volubiles *(Lygodium)*.

Dans certaines fougères arborescentes, hautes de plus de 20 mètres, la partie inférieure de la tige se détruit souvent, elle n'est plus fixée au sol et soutenue dans les airs que par de nombreuses racines adventives, qui se développent successivement de bas en haut et, se recouvrant et s'enchevêtrant

mutuellement, augmentent de beaucoup le diamètre de la partie inférieure. Ces racines adventives servent non seulement d'arcs-boutants pour le tronc, dont la solidité n'est pas en rapport avec l'abondant feuillage qui le surmonte, mais amènent les éléments de nutrition à la partie supérieure encore vivante. Les tiges de Fougères arborescentes conservent la propriété de s'allonger pendant un certain temps, aussi les cicatrices laissées à la surface par la chute des feuilles sont-elles plus étendues dans le sens vertical et plus écartées les unes des autres au bas de la tige qu'au sommet, fig. 40.

On rencontre les premiers représentants de la classe des Fougères dans les couches moyennes du terrain dévonien de l'Europe et de l'Amérique, d'abord sous la forme de pétioles, *Rhachiopteris* divers, et de tiges, *Psaronius erianus,* puis sous celle de frondes appartenant aux genres *Cyclopteris, Nevropteris*. Dans le calcaire carbonifère les *Sphenopteris,* les *Cardiopteris* sont assez répandus.

Mais c'est principalement dans le terrain houiller moyen que les Fougères atteignent un développement remarquable ; les *Prepecopteris, Alethopteris, Nevropteris,* etc., y abondent. Les stypes de grande taille formant les Genres *Caulopteris, Psaronius, Megaphyton* indiquent non seulement que les fougères sont diversifiées, mais que beaucoup sont arborescentes.

Dans le terrain houiller supérieur les vrais Sphe-







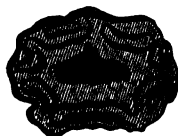


Fig. 40. — Tiges de fougères arborescentes et section transversale des tiges; à gauche, prise dans la région moyenne, à droite choisie au contraire à la partie inférieure.

nopteris deviennent rares et locaux, les *Prepecopteris* à sporanges isolés font place aux Pecopteris, dont les capsules se groupent et se soudent plus ou moins complètement. On voit apparaître également les *Callipteridium*, les *Odontopteris*, les *Taeniopteris*, etc.

Les *Odontopteris* restent abondants dans le terrain permien, tandis que les *Pecopteris*, *Callipteridium* disparaissent.

Un genre caractéristique de ce terrain se montre et disparaît avec lui, c'est le genre *Callipteris*.

Dans le Trias commence et s'éteint le genre *Anomopteris*, et vers la fin de la formation on rencontre le G. *Angiopteridium*, dont les analogies avec les *Marattia* actuelles sont assez frappantes pour qu'on puisse regarder la famille des Marattiées vraies comme remontant jusqu'à cette époque lointaine.

Les couches du Rhétien qui servent de passage du Trias au Lias voient apparaître les premières fougères que l'on puisse rapprocher des Polypodiacées et des Cyathéacées.

Le genre Todea fait son apparition en Australie à peu près à la même époque.

Les formations jurassiques, en même temps qu'elles renferment de nombreuses Marattiées, nous montrent les premières Gleicheniées, des Dicksoniées, des *Polypodiacées* indusiées, etc.

Les grands groupes de Fougères vivantes sont

donc représentés dès l'époque jurassique, et à mesure que l'on remonte davantage à travers les couches terrestres, les genres et les espèces se rapprochent de plus en plus de ceux que nous trouvons encore maintenant, soit dans les régions



Fig. 41. — *Sphenopteris acutiloba,* Sternberg.

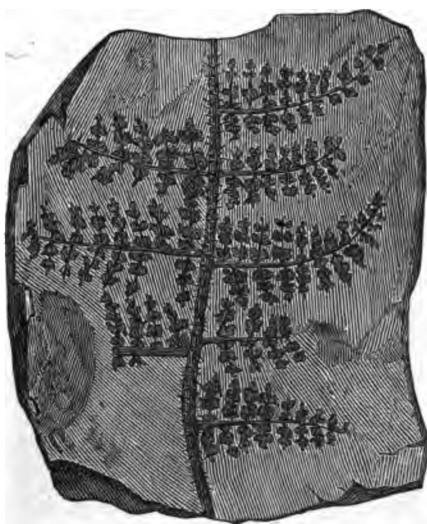
chaudes, soit dans les pays tempérés de notre globe.

Nous donnerons la description des quelques espèces fossiles suivantes.

Sphenopteris acutiloba. Sternb, fig. 40.

Rachis primaire robuste, flexueux, fronde tripennée ; pennes primaires étalées, alternes, allongées, assez rapprochées ; pennes secondaires presque sessiles, opposées ; pennes tertiaires obovales rapprochées, palmées, pinnatifides, divisées en deux ou trois lobes, lobes linéaires lancéolés aigus.

Se rencontre dans les terrains houillers de la Bohême, de Saarbruck.



1

Fig. 42. — Sphenopteris Hoeninghausi, Brongt.

Sphenopteris Haeninghausi. Brongt (fig. 42).

Fronde probablement quadripinnée. Rachis déve-

loppé, couvert d'écailles, pennes primaires alternes, parfois presque opposées, partant du rachis sous un angle de 50° à 70°, assez rapprochées, de manière que leurs divisions empiètent souvent de l'une sur l'autre, oblongues ou linéaires, lancéolées ; rachis robustes, marqués de tubercules, pennes secondaires linéaires, lancéolées inégales près du rachis primaire, pinnules très petites de 1 à 2^{mm} de largeur sur 2 ou 3^{mm} de longueur, ovales ou longuement obovales, au nombre de 10 à 20 sur une même penne, pédicellées à la base, divisées en trois à cinq lobes convexes, cunéiformes, arrondis, à bord légèrement crénelé, nervure médiane se ramifiant en un petit nombre de nervures secondaires, simples ou divisées, aboutissant aux crénelures des lobes.

Cette espèce se trouve dans le terrain houiller moyen, à Eschweiler, à Radnitz, Vieux-Condé, Vicoigne, etc.

Callipteris conferta. Brongt (fig. 43).

Fronde bipinnée, dichotome au sommet, développée, longue de près d'un mètre et large de trente centimètres, rachis épais, pennes sessiles longuement linéaires, les plus grandes mesurant 15 centimètres environ de longueur et 3 de largeur, rétrécies à la base et au sommet, opposées, rapprochées, souvent contiguës.

Pinnules serrées les unes contre les autres,

presque imbriquées, sensiblement convexes, oblongues, arrondies au sommet, confluentes, plus petites à la base et au sommet des pennes. Pinnule terminale irrégulièrement obovale ou trilobée. Parcourues en dessus par un sillon marqué, nervure médiane visible, nervures secondaires fines, nombreuses, dichotomes, un peu arquées, dissimulées



Fig. 43. — Callipteris conferta, Brongt.

en grande partie dans le parenchyme de la feuille; montrant souvent à la surface des ponctuations disposées irrégulièrement, ce sont des traces laissées par un champignon, l'*Excipulites callipteridis*.

Cette fougère, ainsi que toutes les espèces qui appartiennent au genre Callipteris, est caractéristique du terrain permien.

On la rencontre dans les sphérosiderites des couches supérieures de Saarbruck, dans les schistes bitumineux d'Autun, les ardoises de Lodève, les schistes argileux et calcaires de la Thuringe.

Tiges de Fougères fossiles.

Les stipes de fougères fossiles sont extrêmement nombreux, et constituent des genres nombreux désignés par les noms de *Caulopteris, Ptychopteris, Megaphyton, Psaroniocaulon, Psaronius, Tubiculites,* etc.

Nous ne pouvons entrer dans la description de tous ces genres ; toutefois nous croyons indispensable de faire connaître au moins une espèce appartenant à l'un de ces genres, pour montrer que les Fougères fossiles peuvent être étudiées aussi complètement dans leurs détails d'organisation que les Fougères actuellement vivantes.

Nous choisirons le genre *Psaronius,* extrêmement nombreux en sous-genres et en espèces, dont la plupart représentent les tiges arborescentes des Pecopteris.

Parmi ces espèces, le *Psaronius infarctus,* fig. 44, est l'une des plus remarquables par sa fréquence, et par la bonne conservation de son tissu interne.

Le tronc était cylindrique, mais le plus souvent les échantillons se trouvent légèrement aplatis.

En coupe transversale, le corps ligneux, formé



Fig. 44. — Psaronius infarctus, Unger.

d'une large moelle parcourue par de nombreuses bandes vasculaires, est entouré d'une gaîne scléren-chymateuse, présentant vers la périphérie de 4 à

10 prolongements anguleux; les faisceaux vasculaires sont disposés en cercles concentriques; les faisceaux foliaires, au nombre de 4 à 10 comme les prolongements de la gaîne sclérenchymateuse, présentent la forme de fer à cheval plus ou moins régulier. L'écorce est traversée par de nombreuses racines adventives, entourées d'une enveloppe dense et compacte. Le parenchyme fondamental est très peu développé, la masse du cylindre ligneux étant formée en grande partie par les bandes vasculaires qui y sont plongées.

Cette espèce se subdivise, d'après le nombre de faisceaux foliaires disposés en faux verticilles, en *Infarctus,* I. *Decangulus,* I. *Octangulus,* I. *Quinquangulus.*

On rencontre ces différentes variétés dans les grès rouges de Chemnitz, de New-Paka, dans les gisements silicifiés d'Autun, du Val-d'Ajol, etc.

Nous ne pouvons passer sous silence la Famille des *Pécopteridées,* qui parmi les Fougères fossiles sont connues dans toutes leurs parties essentielles. Les caractères généraux de la famille sont d'avoir des frondes simples, ou plusieurs fois pinnées, fréquemment de grandes dimensions. Les pinnules sont entières, quelquefois incisées ou dentées, soudées par toute leur base rarement rétrécie, souvent confluentes. Nervure primaire s'étendant jusqu'au sommet, nervures secondaires simples, dichotomes, quelquefois trifurquées, libres jus-

qu'aux bords. Capsules marattioïdes disposées tantôt sous toute la face inférieure des pinnules, tantôt sur les bords.

Sporanges libres ou soudés par 4, 5 ou 6, sans connecticule, plus ou moins analogues aux sporanges des Marattiées.

Parmi les Pecopteris nous choisirons, pour donner une idée plus complète du genre, le *Pecopteris polymorpha*. Brongt.

Les frondes, de grande dimension, étaient tripinnées, pennes primaires allongées, pennes secondaires courtes brusquement terminées en pointe, pinnule terminale petite, pinnules contiguës contractées légèrement à la base; celles de la partie supérieure de la penne, courtes, obtuses, celles du milieu oblongues, aiguës, entières, celles de la base, linéaires oblongues, à bords sinueux, nervure médiane très distincte, nervures secondaires, arquées et divergentes, deux ou trois fois bifurquées, sporanges disposés en deux séries de chaque côté de la nervure médiane, C, fig. 45.

Les sporanges, généralement groupés par 4, sont disposés sur deux lignes parallèles à la nervure médiane; ils sont libres sur une grande partie de leur longueur, n'étant soudés au limbe de la feuille que par leur partie inférieure et entre eux par une sorte de pédicelle perpendiculaire au limbe; ce dernier envoie quatre lames qui vont se souder chacune à un des sporanges; en section

Fig. 45. — Fougère arborescente du terrain houiller restaurée.
Pecopteris polymorpha, Brongt.

A. Fragment de penne tertiaire de *Pecopteris polymorpha.*

B. Pinnule montrant la nervure médiane et les nervures secondaires dichotomes.

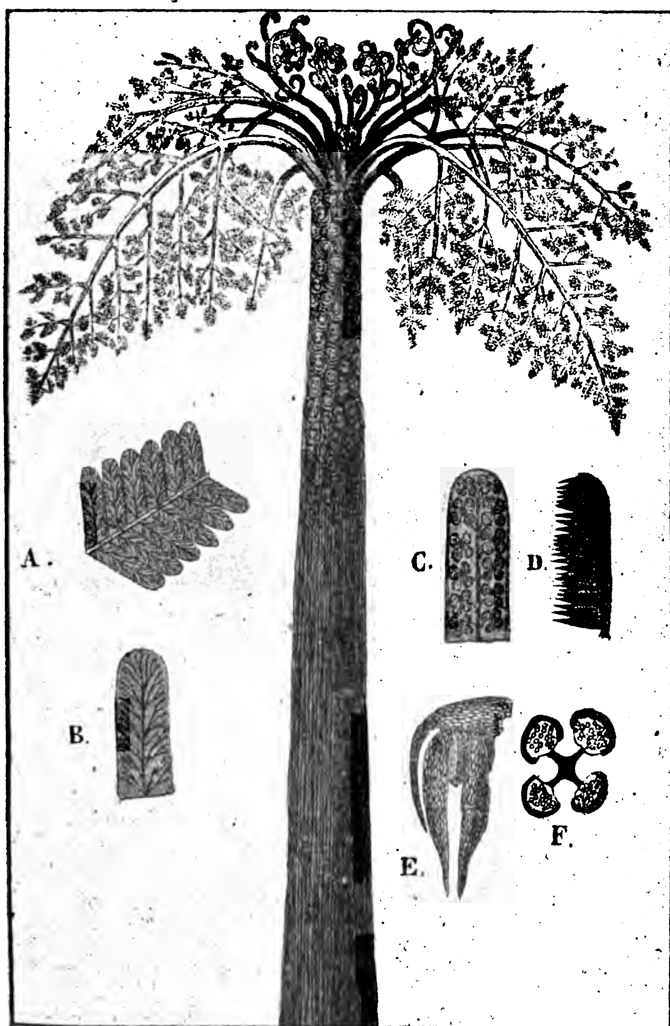
C. Sporanges disposés par groupes de 4 de chaque côté de la nervure médiane sur la face inférieure de la pinnule.

D. Coupe faite perpendiculairement au limbe montrant les sporanges allongés à pointe aiguë.

E. Un groupe de quatre sporanges isolé et grossi avec le pédicelle qui réunit les sporanges entre eux.

F. Coupe transversale d'un groupe de sporanges, indiquant leur mode de jonction, les spores qui remplissent les sporanges et la membrane mince qui les réunit au pédicelle et qui en se déchirant permettait aux spores de s'échapper.

Les détails de structure admirablement conservée ont été fournis par des échantillons silicifiés d'Autun.



A.
B.
C.
D.
E.
F.

transversale, il présente par conséquent la forme d'une croix, F.

Les sporanges sont très allongés, à peu près cylindriques sur une portion de leur étendue, arrondis vers l'extrémité soudée au limbe de la feuille et terminés en pointe longuement atténuée à leur autre extrémité. Dans les empreintes, lorsqu'ils ont été rabattus par la compression, leur extrémité dépasse le contour du limbe, malgré le développement notable de ce dernier.

L'enveloppe des capsules est formée d'une ou plusieurs couches de cellules à parois épaissies, allongées dans le sens de la hauteur, mais ces cellules cessent d'exister du côté qui regarde le pédicelle commun. La paroi épaisse et coriace du sporange est remplacée dans cette région par une mince cloison à laquelle est soudée la branche correspondante du pédicelle; lors de la maturité du sporange, la membrane se déchirait pour laisser échapper les spores.

Les spores sont globuleuses, lisses à la surface, et mesurent $0^{mm},08$, c'est-à-dire qu'elles ont à peu près le diamètre des spores de la plupart des fougères vivant actuellement.

Le parenchyme de la feuille est relativement peu épais, eu égard au développement des sporanges qui sont disposés à sa surface.

Les bords du limbe prennent une extension considérable et, en se repliant en dessous, enve-

loppent complètement les sporanges dans leur jeunesse; ceux-ci ne s'affranchissent de cette protection qu'à leur maturité.

Cette espèce remarquable que nous avons essayé de décrire est commune et se rencontre à Alais (Gard), Lodève (Hérault), Anzin (Nord), Blanzy, Epinac, Autun (Saône-et-Loire), etc.

Comme exemple de plante touchant aux fougères par certains détails d'organisation de la tige et des pétioles, mais s'en écartant complètement par les organes de fructification, nous citerons celles qui forment la famille des *Bothryopteridées*[1].

Cette famille, qui comprend les genres *Zygopteris,* Corda, *Schizopteris,* Brongt, *Bothryopteris,* B. R., paraît plus voisine des Marsiliacées que des Fougères et représente un type très élevé en organisation. Nous n'en décrirons qu'une espèce, choisie dans le genre *Zygopteris*.

Zygopteris Brongniarti, B, R.

Cette espèce est connue dans presque toutes ses parties; les gisements silicifiés de Grand'Croix et d'Autun ont fourni de nombreux spécimens qui ont servi à faire son histoire.

La tige mesure plusieurs centimètres de diamètre, elle est circulaire.

1. De βοθριον, alvéole, capsule, et πτερις, fougère, à cause de la forme toute spéciale des fructifications.

Au centre se trouve un cylindre ligneux prismatique, formé de trachéides rayées, l'axe même est composé d'une moelle très réduite envoyant des prolongements lamelliformes dans l'épaisseur du cylindre ligneux.

Le liber n'est pas conservé. L'écorce est épaisse, formée de plusieurs assises ; la plus interne, parenchymateuse, est constituée par des cellules polyédriques dans lesquels on distingue de nombreuses granulations foncées, provenant des grains primitifs d'amidon ?

L'écorce est traversée obliquement par des cordons vasculaires qui se rendent aux feuilles ; celles-ci étaient charnues, épaisses et disposées autour de la tige, soit en verticilles, soit en spirales rapprochées.

Les pétioles étaient cylindriques et parcourus dans toute leur longueur par un faisceau vasculaire affectant la forme d'un H à branches verticales écartées ; les cordons foliaires, qui se dirigent dans les ramifications, s'échappent à droite et à gauche vers le milieu des branches verticales.

Les fructifications des plus remarquables sont formées de capsules, A, fig. 46, nombreuses, disposées en glomérules à l'extrémité d'axes très courts qui représentent les subdivisions multipliées de la fronde ; elles sont réniformes, composées d'une enveloppe extérieure coriace, présentant un ou deux rangs de cellules, sauf vers la base ré-

sultant du prolongement des pédicelles, et d'une membrane très mince intérieure, souvent contractée et séparée de la première enveloppe. Deux bandes élastiques diamétralement opposées déter-

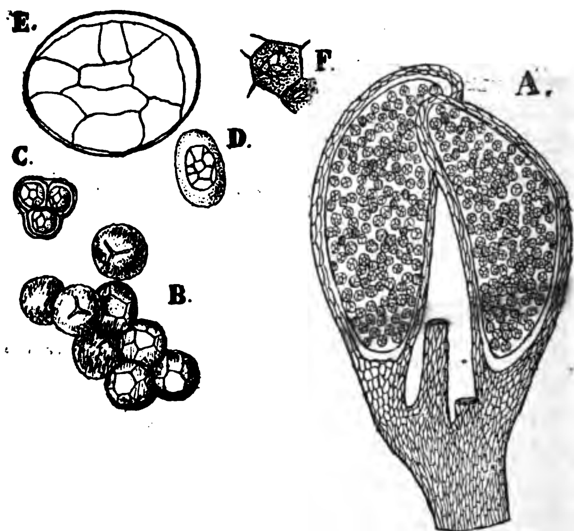


Fig. 46. — Fructifications de Bothryoptéridée.

A. Capsules terminant les ramules très courts des frondes de *Zygopteris Brongniarti*. Les capsules sont munies de deux bandes élastiques, elles renferment des spores de deux espèces.

B. Groupe de microspores et de macrospores plus grossis.

C. Pollen de Calamodendrée.

D. Pollen de Cordaïte.

E. Pollen d'Aetheotesta.

F. Divisions cellulaires du même montrant les perforations des parois.

minaient la déhiscence des capsules. Mais le fait le plus intéressant est la présence dans ces capsules de spores nombreuses de deux sortes, sensiblement de même grandeur. Les unes, parfaitement sphériques, offrent à leur surface les trois lignes radiantes des macrospores, elles ne présentent aucune division cellulaire interne; les autres, plus ou moins polyédriques, présentent une division cellulaire interne, parfaitement nette ; ce seraient des prothalles mâles ou microspores.

La nature actuelle n'offre aucun exemple semblable de macrospores et de microspores *libres* réunis dans un même sporange.

VII. Classe des Conifères.

Famille des Salisburiées.

L'apparition sur le globe de la famille des Salisburiées remonte à une époque très reculée si, d'après quelques analogies de forme et de nervation, on place les feuilles de Whittleseya du terrain houiller moyen parmi les membres de cette famille, le nombre des genres qui l'ont représentée aux différentes époques est assez varié et prouve une extension bien plus grande que ne le laisserait supposer le petit nombre d'individus qui vivent de nos jours.

Actuellement elle n'est plus représentée que par un seul genre et une seule espèce, le *Ginkgo biloba,* espèce qui se retrouve à l'état fossile et dont on peut suivre les migrations et retrouver le point de départ.

Cantonnée dans une région des moins étendues, elle aurait fini par disparaître comme tant d'autres espèces, si une certaine originalité de port et d'élégance dans le feuillage n'avait été l'origine, en Chine et au Japon, d'une espèce de culte superstitieux, qui porta les indigènes à en cultiver les pieds avec soin, à les entourer d'un certain respect et à les propager autour de leurs temples, de leurs pagodes, enfin de tous leurs monuments sacrés.

C'est le voyageur Kaempfer qui fit connaître l'existence de cette plante, cultivée au Japon et au nord de la Chine sous le nom indigène de *Ginan* et *Itsjo,* et qui lui donna le nom de *Ginkgo biloba.* Introduit en Angleterre en 1754, il fut ensuite en France, à Montpellier, en 1788; depuis lors il s'est répandu dans presque tous les jardins de l'Europe, où il est cultivé comme plante d'ornement.

Les caractères de la famille des Salisburiées peuvent se résumer comme il suit : feuille étalée à l'extrémité d'un pétiole plus ou moins développé, limbe en éventail, rarement simple, crénelée sur les bords, le plus souvent profondément

divisées en lobes dichotomes et parcourues par de nombreuses nervures.

Fleurs mâles disposées en chatons pédicellés, les loges et les sacs polliniques sont groupés par 2, 3, 6, 8, et s'ouvrent par une fente longitudinale. Les ovules sont associés par deux, par quatre, ou généralement en nombre égal à celui des segments de la feuille. A la maturité, les graines sont solitaires par avortement de quelques-unes d'entre elles, ou réunies par deux, par trois, articulées à l'extrémité d'un pédicelle cupuliforme, formé d'une enveloppe extérieure charnue et d'une coque intérieure dure et ligneuse.

Les principaux genres de la famille sont le G. *Ginkgo*, Kaempf, G. *Baiera*, F. Br., G. *Tricopitys*, Sap., G. *Czekanowskia*, Heer, G. *Phenicopsis*, Heer, G. *Rhipidopsis*, Schmalhausen, — G. *Ginkgophyllum*, Sap., G. *Dicranophyllum*, Grand'Eury. G. *Whittleseya*, Neuberry.

Parmi ces genres nombreux, nous en choisirons deux seulement pour donner une idée de la famille.

Genre Ginkgo, Kaempf., fig. 47, A.

Ce sont des arbres qui peuvent atteindre plus de vingt mètres de hauteur et quatre mètres de diamètre ; les feuilles sont étalées, supportées par un pédicelle grêle et allongé, flabelliformes, souvent échancrées au bord supérieur, bi- ou quadri-

lobées coriaces. Les nervures sont réparties à la base en deux masses distinctes latérales, de là elles divergent en se dichotomisant.

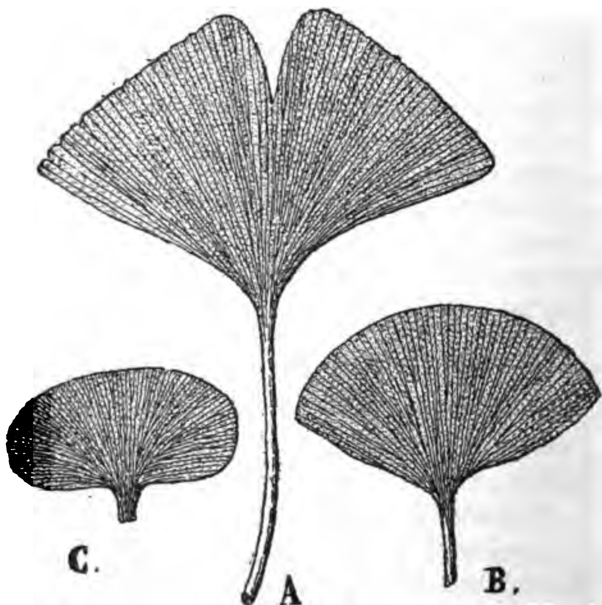


Fig. 47. — Feuilles de Salisburiées diverses.

A. *Ginkgo biloba*, Kaempf. — B. *Ginkgo (Salisburia) antartica*, Sap. — C. *Ginkgo (Salisburia) martenensis*, B. R.

Fleurs dioïques, chatons mâles filiformes, nus à la base, pédicellés, anthères munies d'un connectif court, squamiforme, filet inséré perpendi-

culairement sur l'axe, déhiscence longitudinale. Chatons femelles longuement pédicellés, écaille ovulifère dilatée en cupule à son extrémité, non soudée à la bractée mère, celle-ci différant peu d'une feuille ordinaire, strobiles drupacés, sphériques, charnus, coque dure bi- ou tri-carènée.

Le seul représentant de ce genre est, comme nous l'avons dit, le Ginkgo des Chinois, qui atteint des dimensions gigantesques, cultivé soit comme ornement, soit à cause des qualités alimentaires de sa graine. On le rencontre actuellement dans une zone assez étendue comprise entre le 30e et le 55e degré de latitude nord.

Le Ginkgo se retrouve à tous les étages des terrains tertiaires, dans la Craie, dans les couches des terrains jurassiques. Nous avons figuré en B une feuille de *Salisburia antartica*, Sap., provenant d'un calcaire argileux gris bleuâtre de l'Oolithe inférieure d'Australie.

Le limbe est subtriangulaire, à contour supérieur arrondi, le pétiole était assez court. La feuille ressemble beaucoup à certaines feuilles non lobées du Ginkgo actuel.

Le Ginkgo a été retrouvé dans des couches plus anciennes encore.

Nous avons représenté en C une feuille rencontrée dans le terrain permien de Martenet près Toulon-sur-Arroux, dont le contour est ovale et dont la forme rappelle le *Ginkgo integerrima* des

couches jurassiques de Ssuka (Russie méridionale), décrit par Schmalhausen.

Le pétiole élargi paraît avoir été assez court, les nervures sont fines, dichotomes, et se términent au contour arrondi et entier de la feuille.

Cette dernière espèce est jusqu'ici la plus ancienne que l'on ait signalée, et fait descendre l'apparition des Ginkgo jusque dans les terrains primaires.

Genre Baiera, F. Br.

Ce genre renferme les Salisburiées dont les feuilles présentent un limbe à divisions dichotomes très apparentes.

Le limbe est coriace, divisé dès la base en segments linéaires étroits, dichotomes, parcourus par des nervures nombreuses, fines, parallèles. Les fleurs mâles sont formées par la réunion en chaton d'étamines nombreuses dont le filet porte à son extrémité 5 à 7 sacs polliniques. Les fleurs femelles sont disposées à l'extrémité de pédicelles plusieurs fois bifurqués. Les graines sont articulées sur les divisions dichotomes et renflées de l'écaille ovulifère et bien plus petites que celles de la plupart des Salisburiées.

Parmi les espèces nombreuses contenues dans le genre Baiera, nous citerons le *Baiera Raymondi*, espèce nouvelle trouvée par M. l'ingénieur

Raymond dans les couches permiennes de la Charmoye près le Creuzot.

La feuille, parfaitement conservée, mesure 83^{mm} de hauteur sur 40 de largeur maximum. Elle est

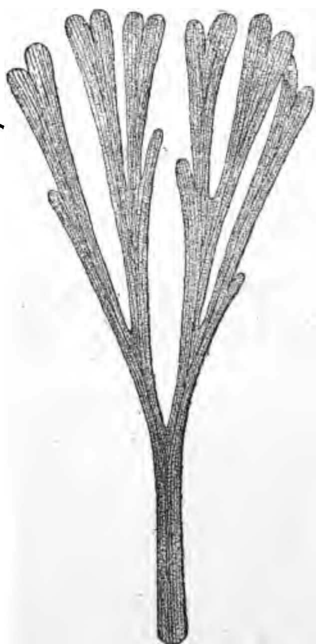


Fig. 48. — *Baiera Raymondi*, B. R.

longuement atténuée à la base en une sorte de pétiole large de 4^{mm}. Le limbe se dichotomise très régulièrement à partir de 30^{mm} de la base, souvent l'une des branches de la dichotomie se

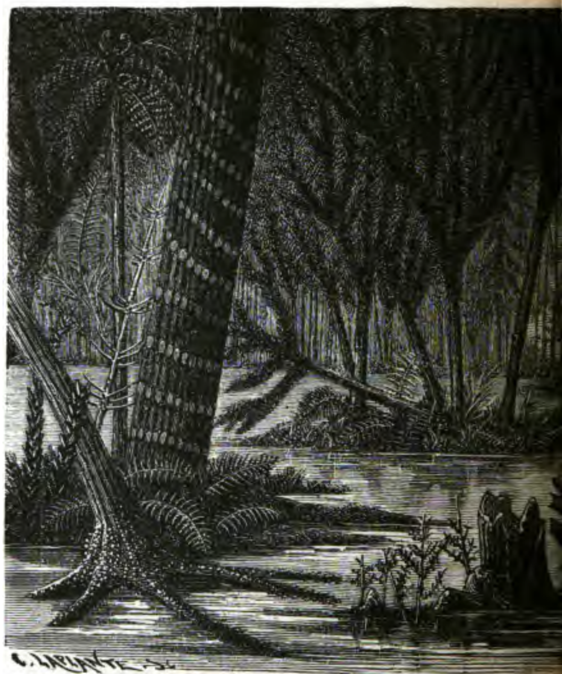
développe beaucoup moins que l'autre alternativement à droite et à gauche.

Les bords des segments sont arrondis, le limbe est coriace, épais et parcouru dans son épaisseur par de nombreuses nervures parallèles quelquefois bifurquées.

Le genre Baiera est très répandu dans les terrains crétacés et jurassiques ; l'espèce que nous venons de décrire le fait descendre d'une manière certaine dans le terrain permien, c'est la plus ancienne du genre [1].

1. En effet, le *Baiera digitata*, Brongt, B. R. *Zonarites digitatus*, Brongt, Sch. se trouve dans une couche du Permien de Mansfeld, plus récente que celle de la Charmoye.

RENAULT. *Les plantes fossiles.*



J. B. BAILLIÈRE & FILS.

Fig. 49. Un paysag



DURAND, IMP.

poque houillère.



CHAPITRE V

APPLICATION DES RESTES DE VÉGÉTAUX FOSSILES A LA CLIMATOLOGIE ANCIENNE, A LA DÉTERMINATION DE L'AGE DES TERRAINS. PERSISTANCE DE CERTAINS TYPES, FUGACITÉ DE QUELQUES AUTRES. — TABLEAUX DE QUELQUES ESPÈCES CARACTÉRISTIQUES D'ÉTAGES.

Depuis longtemps déjà l'étude des animaux fossiles a amené les géologues à admettre que la température, l'humidité, certaines conditions chimiques de milieu, etc., ont subi des changements notables pendant l'évolution de notre globe. Si les animaux se sont montrés sensibles à ces variations, les plantes en ont ressenti certainement plus encore les effets favorables ou nuisibles, puisque, fixées invariablement au sol, ne pouvant se soustraire à l'action des agents physiques extérieurs, elles ont dû ou plier peu à peu leur organisme à ces exigences nouvelles, ou céder la place à d'autres espèces, mieux appropriées pour supporter ce nouvel état de choses.

On sait que sur une section transversale d'un bois de Dicotylédone de nos pays on distingue le

plus souvent avec facilité des cercles ligneux concentriques b', b'', b''', fig. 50, dont les éléments, alternativement plus vasculaires ou plus denses, indiquent le bois formé au printemps, ou celui produit à l'arrière-saison.

Les couches concentriques elles-mêmes ont une épaisseur qui varie suivant que l'année a été plus ou moins favorable à la végétation. Chaque plante vivace offre donc les dates successives de ces variations climatériques inscrites dans son tissu en caractères ineffaçables.

Dans les contrées où les variations annuelles de température sont moins tranchées, le tissu ligneux est plus homogène, et les couches se succèdent sans démarcation bien sensible ; elles n'accusent plus que des périodes d'humidité ou de sécheresse pendant lesquelles la végétation a pris plus d'essor ou s'est ralentie.

Les troncs fossiles silicifiés ou carbonatés, que l'on rencontre à peu près dans toutes les formations géologiques, offrent ces particularités de structure des bois actuels.

Mais ces démarcations, d'abord très distinctes dans les troncs qui appartiennent aux époques tertiaires des zones tempérées, deviennent de moins en moins accusées à mesure que les végétaux sont plus anciens. C'est à peine si dans les Conifères du terrain jurassique et du terrain houiller on retrouve quelques lignes concentriques

indiquant un arrêt de courte durée dans l'accroissement du tissu ligneux.

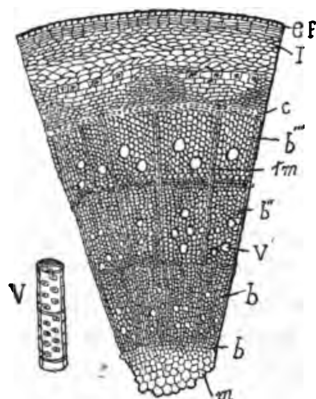


Fig. 50.

Coupe transversale d'un rameau de tilleul âgé de trois ans. *m*, moelle. — *b*. région occupée par les trachées. — *b'* fibres ligneuses de la première zone annuelle du bois. — *b''*, *b'''*, fibres appartenant à la deuxième et à la troisième zone. — *v'* vaisseaux plongés dans la masse des fibres. — *rm*, rayons médullaires principaux disposés en séries rayonnantes comme les fibres ligneuses, qui de leur côté sont séparées par des rayons cellulaires moins importants. — *c*, zone génératrice produisant du bois du côté interne et du liber vers l'extérieur. — *l*, couche subéreuse. — *ep*, épiderme.

V. L'un des vaisseaux pris dans la masse ligneuse.

Les vaisseaux sont plus nombreux, souvent localisés, dans la partie la plus intérieure de chaque zone annuelle qui correspond, comme l'on sait, au bois formé au printemps ; ils

deviennent très rares, manquent quelquefois complètement dans la partie la plus nouvelle de la zone ligneuse formée à l'arrière-saison.

C'est à cette différence dans la constitution d'une même zone ligneuse annuelle qu'est due la possibité de distinguer entre elles les couches concentriques, qui, chacune, représentent l'accroissement du cylindre ligneux pendant la période de végétation de l'année.

Des forêts considérables de Conifères et de Cordaïtes paraissent avoir couvert les terres desséchées et les collines de la période houillère; comme le bois de ces végétaux n'offre que très peu de variation, on est en droit de conclure que le climat de cette période était d'une grande régularité.

Cette constance dans le climat est encore confirmée par la structure des bois des Calamodendrées, fig. 19, 23, des Sigillaires, fig. 32, A, qui croissaient sur le bord des lacs ou dans la vase. Le bois de ces végétaux est en effet absolument homogène dans toute son épaisseur.

L'égalisation des climats, par toute la terre, pendant la durée des siècles qu'a demandée la formation de la houille, est mise hors de doute par l'identité des espèces qui se rencontrent dans les couches carbonifères les plus éloignées les unes des autres, mais contemporaines. Partout, sur les terres arctiques comme dans les régions équatoriales, ce sont les mêmes espèces de Calamites, de Fougères,

de Lépidodendrées, de Sigillaires etc., que l'on recueille en abondance.

Si durant cette longue période il y a des changements entraînant la disparition de quelques espèces, ou même de quelques genres, et l'apparition de plantes nouvelles, ces modifications ne paraissent pas isolées, mais s'étendent simultanément sur toute la surface du globe.

Pendant les formations triasiques et jurassiques, les plantes qui couvrent les continents, bien différentes, il est vrai, de celles qui vivaient aux époques permienne et houillère, sont cependant semblables dans toutes les couches de même âge de tous les pays. Les montagnes, plus élevées que pendant les dépôts houillers, ne le sont pas assez pour amener des Flores de montagnes distinctes de celles des plaines. S'il y a des différences appréciables, c'est que certaines espèces vivaient de préférence dans les lieux humides ou inondés, tandis que d'autres habitaient des terrains plus secs.

Ce n'est qu'à l'époque de la Craie que des différences dans la latitude déterminent des changements dans la distribution des végétaux. On voit apparaître dans la Craie inférieure de Kome, dans le golfe d'Omenak au Groenland, par 70° de latitude boréale, des Sapins qui viennent se mêler aux Cycadées déjà anciennes sur le globe. Avec eux se montrent des *Credneria,* des Figuiers; il

semble que les Dicotylédones angiospermes trouvent seulement à ce moment de la vie du globe les conditions favorables à leur extension; on les voit dès lors s'étendre rapidement sur toute la surface de la terre. Et pendant la formation des terrains plus récents, tels que l'Eocène, le Miocène, etc., on les rencontre de plus en plus nombreuses, à mesure que la latitude intervient davantage dans la distribution de la température.

La zone terrestre où régnait un climat comparable à celui de certaines régions tropicales se resserre de plus en plus à partir de la Craie. Après avoir quitté les terres arctiques, nous retrouvons sa limite au commencement de l'époque tertiaire dans le nord de l'Angleterre et de l'Allemagne, ou l'abondance des Palmiers, des Pandanées, des Bananiers assignent pour ces pays, à ce moment, une température moyenne annuelle de 25°.

Plus tard, à l'époque miocène, elle ne dépasse pas les contrées méridionales de l'Europe; elle y est caractérisée par la présence de plantes tropicales africaines. Les Cycadées, qui pendant le dépôt de la craie occupaient le Groenland, se sont réfugiées dans le midi de la France, à Armissan, Bonnieux, et en Grèce à Koumi.

Pendant la période pliocène, on peut admettre qu'elle ne dépasse pas le 40° ou l'extrême limite de l'Europe méridionale. Actuellement, comme on le sait, les Cycadées ne se rencontrent guère

au delà du 35° de latitude nord et en Australie du 38° de latitude sud.

La connaissance complète de la Flore d'une formation géologique peut fournir des renseignements précis sur l'état climatérique de la contrée voisine du lieu où se déposait cette formation; d'après M. de Saporta, au moment où se solidifiaient les tufs calcaires de Méximieux près de Lyon, en pleine période pliocène, les campagnes voisines du dépôt étaient couvertes de Lauriers roses, d'Avocatiers des Canaries, de Bambous, de Magnolias, de Chênes verts, etc..., ensemble de plantes qui, d'après la température moyenne des pays où elles croissent spontanément, indiquent pour les environs de Lyon une température moyenne annuelle de 17 à 18°.

La moyenne annuelle de cette région n'est plus, comme on sait, que de 11°.

En rapprochant les différents organes d'une même plante trouvés la plupart du temps détachés et isolés, on a pu reconstituer avec assez de probabilité le port de cette plante et en donner une idée plus complète.

Beaucoup de paléontologistes se sont livrés à des restaurations de ce genre. De là à refaire un paysage groupant les végétaux placés dans les conditions probables de leur végétation naturelle, il n'y avait qu'un pas et il existe un grand nombre de groupements se rapportant aux Flores

caractéristiques des principales époques géologiques.

Nous ne reproduirons que deux de ces tableaux ; le premier comprend des plantes de la période houillère, et le second, des végétaux de l'époque tertiaire ; la différence des deux paysages est assez frappante.

Dans le premier (fig. 49), on ne voit aucune montagne à l'horizon, les terres sont basses, relativement de peu d'étendue ; de nombreuses îles couvertes d'une végétation extrêmement abondante et variée ; à droite et au bas de la figure, on distingue une Sigillaire cannelée émettant des racines dichotomes, stigmariformes, plongeant dans l'eau et munies de leurs radicelles. Plus loin, un îlot couvert d'un massif de Lepidodendron dont les branches nombreuses se subdivisent par dichotomie.

Sur les îles qui sont au fond, on apperçoit des tiges élancées de Calamodendrées portant des rameaux et des feuilles disposées en verticilles.

Une fougère arborescente avec ses jeunes frondes roulées en crosse se dresse au milieu du paysage. A droite et un peu en avant d'un groupe de Cycadées houillères, se voient deux troncs de Cordaïte ornés de feuilles longues et coriaces.

Tout autre est l'aspect du second paysage (fig. 51) ; l'horizon est borné par des montagnes élevées, l'air, la terre et les eaux sont peuplés

d'êtres nombreux. Dans le lointain, des cerfs et des éléphants animent les plaines et les côteaux; plus en avant ce sont des antilopes, des tapirs. Nageant dans l'eau du fleuve, on voit un hippopotame, et sur ses bords un lézard de grande taille.

Les plantes ont un port beaucoup moins étrange, à gauche une forêt de Figuiers dont les branches servent aux ébats des singes. De nombreuses fougères herbacées croissent à l'ombre d'arbres touffus, et la campagne est parsemée de Fougères arborescentes, de Palmiers et de Cactus.

Des faits que nous avons résumés succinctement, il résulte les deux lois suivantes fort importantes :

1° Loi de concordance des espèces;

2° Loi de leur extinction.

D'après la première, les Flores se sont succédé dans le même ordre et simultanément sur toute la terre, depuis le moment où elles ont apparu jusqu'aux terrains crétacés.

D'après la deuxième, lorsqu'une espèce végétale s'éteint dans une région déterminée du globe, c'est pour toujours; il n'y aura jamais dans la suite retour de cette espèce dans les couches superposées d'origine plus récente.

A partir des terrains crétacés, la première de ces lois ne reste vraie que si, au lieu de considérer

le globe entier, on ne l'applique qu'aux terrains qui se sont formés à une même latitude et dans des conditions analogues, car les flores des régions arctiques et des régions tropicales commencent déjà à se différencier, et la séparation s'accuse de plus en plus à mesure que l'on se rapproche de l'époque actuelle. Les flores des formations tropicales doivent donc être moins complètes que celle des contrées polaires, mais, en revanche, elles sont en liaison plus intime avec celles du passé.

La deuxième des lois précédentes ne paraît pas non plus offrir d'exception aux époques antérieures au terrain crétacé, mais on comprend la possibilité de voir à partir de cette époque réapparaître une espèce dans une localité où elle s'était éteinte sous l'influence de perturbations passagères, par son retour des contrées où, les conditions d'existence étant restées les mêmes, cette espèce avait persisté. C'est ainsi que l'on peut citer certaines espèces de plantes de pays tempérés qui ont réapparu dans des points qu'elles avaient été obligées de quitter pendant la période glaciaire, et continuent d'y vivre maintenant.

Mais en dehors de quelques exceptions qui peuvent se présenter, depuis que la latitude a exercé une influence marquée sur la distribution de la chaleur, cette loi peut être appliquée d'une manière très générale.

Ainsi, pour ne rappeler que quelques exemples, le *Bornia radiata* se rencontre dans le terrain houiller inférieur, jamais dans le terrain houiller moyen et supérieur, ni au-dessus.

L'*Arthropitus gigas* caractérise les couches supérieures du terrain houiller et les couches inférieures du terrain permien.

Les différentes espèces de *Callipteris* sont confinées dans les couches permiennes.

L'*Equisetum arenacum* ne se rencontre que dans les grès bigarrés.

Les *Annularia*, les *Sphenophyllum*, les *Sigillaria*, les *Lepidodendron*, un grand nombre de genre de Fougères, Sphenopteris vrais, Cardiopteris, Pecopteris, etc., sont absolument inconnus dans les terrains secondaires et tertiaires.

On pourrait facilement multiplier les exemples pour prouver qu'un genre ou une espèce, une fois disparu, ne revient plus, et que beaucoup d'entre eux sont caractéristiques d'un étage ou d'une formation.

La botanique fossile a eu souvent l'occasion d'appliquer ces lois, je ne rappellerai que les faits suivants entre mille autres.

Personne n'ignore les discussions nombreuses soulevées par les terrains anthracifères des Alpes. En 1828, Elie de Beaumont signala à Petit-Cœur, en Tarentaise, une couche à bélemnites intercalées entre deux assises renfermant des végétaux; ces

derniers, au nombre de 22 espèces, furent reconnus par Brongniart comme appartenant tous au terrain houiller supérieur. Au point de vue botanique, le terrain anthracifère était donc bien houiller, mais, d'un autre côté, la couche découverte par Elie de Beaumont appartenait sans doute possible au Lias inférieur. Les déductions tirées des lois de la botanique fossile, qui en était presque à ses débuts, subissaient ainsi un sérieux contrôle. La Société géologique de France, réunie extraordinairement pour la *deuxième fois* à Saint-Jean-de-Maurienne, en 1861, la fit sortir victorieuse de cette épreuve, en prouvant que les couches en question avaient subi un plissement tel, que les bancs liasiques, renversés sur eux-mêmes, avaient actuellement leur surface supérieure en contact, tandis qu'une partie des terrains anthracifères, dans le mouvement de plissement qui s'était opéré, avaient été amenés à occuper une position supérieure à l'une des deux couches du Lias avec laquelle elle était restée unie.

Depuis lors la botanique fossile s'est enrichie d'un nombre considérable de faits précis, de découvertes précieuses qui, donnant plus de rigueur à ses déterminations, en ont fait une science complètement indépendante et lui permettent, avec ses seules ressources, d'aller encore plus loin et plus sûrement dans la détermination des terrains.

M. Grand'Eury, en effet, complétant les tenta-

REBAULT. *Les plantes fossiles.*



J.B. BAILLIÈRE & FILS.

Fig. 51. — Un pay



DURAND, IMPR.

l'époque tertiaire.

tives faites déjà dans cette direction par Geinitz sur les terrains houillers de la Saxe, a prouvé que les empreintes seules pouvaient fournir les éléments d'une classification générale des formations carbonifères.

Les observations de Goeppert, Geinitz, Beinert, ont établi que les flores ont changé par l'apparition et la disparition lente, mais continues, d'espèces.

A Saint-Etienne, dix-huit couches successives ont permis à M. Grand'Eury de suivre un grand nombre de ces espèces, depuis leur apparition jusqu'à leur extinction, et d'en tirer des caractères de la plus haute valeur pour distinguer ces couches entre elles.

En prenant pour *criterium*, non pas le moment d'apparition ou d'extinction d'une espèce, moment quelquefois difficile à saisir, mais celui où elle est la plus abondante, où elle se présente avec le plus d'ampleur, en un mot où elle remplit son rôle le plus important dans la vie, il a pu construire une sorte d'échelle chronologique, qui, appliquée en dehors du bassin de Saint-Etienne, lui a servi à fixer l'âge de toute une série de terrains houillers indépendants, isolés les uns des autres et exploités soit autour du plateau central, en France, soit dans d'autres parties du globe.

A une date récente, les indications fournies par l'étude de plantes fossiles ont permis à MM. Zeiller et Grand'Eury de conseiller à la Compagnie des

houillères de la Grand'Combe de rechercher à une profondeur de plus de 600 mètres une couche puissante de houille exploitée déjà, mais à une certaine distance du lieu indiqué pour de nouvelles recherches, et recouverte par des bancs épais et stériles. Cette couche, reconnue, par la nature de ses plantes fossiles, comme la plus ancienne de toutes celles de la région et la plus importante, devait se retrouver au-dessous de celles qui par la nature de leurs empreintes végétales paraissaient plus récentes. Les travaux entrepris ont amené la confirmation de l'exactitude des déductions tirées de la nature des empreintes et livré à l'exploitation des masses de combustible, dont l'existence jusque là problématique avait découragé les tentatives et les travaux de plusieurs ingénieurs.

Ces exemples, que nous pourrions facilement multiplier, font comprendre tous les services que l'on peut tirer, au point de vue de la détermination des terrains, de la connaissance des plantes fossiles qu'ils renferment. Les espèces et les genres qui se sont éteints rapidement sont évidemment les plus précieux à ce point de vue ; viennent ensuite ceux qui présentent dans leur existence plus ou moins longue un maximum de nombre et d'extension.

Nous réunissons dans les tableaux suivants quelques espèces caractéristiques de chaque terrain.

TABLEAUX

INDIQUANT LA RÉPARTITION DANS LES DIFFÉRENTS TERRAINS DE QUELQUES PLANTES CARACTÉRISTIQUES

TAB. I

LYCOPODIACÉES

TERRAIN	PSILOPHYTON	LEPIDODENDRON	LEPIDOPHLOIOS
—	—	—	—
Pliocène	—	—	—
Miocène	—	—	—
Eocène	—	—	—
Crétacé	—	—	—
Jurassique	—	—	—
Liasique	—	—	—
Triasique	—	—	—
Permien	—	Posthumum, Weiss.	Acuminatus, Weiss.
Houiller supérieur	—	Sternbergii, Brongt.	Crassicaulis, Corda.
Houiller moyen	—	Veltheimianum, Sternb.	Laricinus, Sternb.
Culm	—	Rhodumnense, B. R.	—
Dévonien	Elegans (Dawson).	Gaspianum, Dawson.	—
Silurien	Princeps, Dawson.	—	—

TAB. II

CALAMARIÉES

TERRAIN	EQUISETUM	CALAMITE	ANNULARIA	ASTÉROPHYLLITE
Pliocène	Hyemale, Linné.	—	—	—
Miocène	Brauni, Unger.	—	—	—
Eocène	Parlatori, Unger.	—	—	—
Crétacé	Lyelli, Mantell.	—	—	—
Jurassique	columnare, Brongt.	—	—	—
Liasique	Peilati, Sap.	—	—	—
Triasique	arenaceum, Braun.	—	—	—
Permien	—	infractus, Geinitz.	spicata, Weiss.	equisetiformis, Schlotheim.
H[ller] sup.	Monyi, B. R. R. Z.	Suckowi, Brongt.	longifolia, Brongt.	foliosus, L. et H.
H[ller] moy.	—	Cisti, Brongt,	radiata Brongt.	longifolius, Brongt.
Culm	—	Roemeri, Gœpp.	acicularis, Daws.	pigmaeus, Brongt.
Dévonien	—	—	Dawsoni, Schimp.	coronatus, Unger.

TAB. III

RHIZOCARPÉES

TERRAIN	SALVINIÉES	MARSILIACÉES	SPHENOPHYLLUM
—	—	—	—
Pliocène	—	—	—
Miocène	Salvinia formosa, Heer.	—	—
Eocène	Salvinia Reussii, Etting.	—	—
Crétacé	—	M. Marioni, Al. Braun.	—
Jurassique	—	M. speciosa, Schenck.	—
Liasique	—	Sagenopteris.	—
Triasique	—	S. rhoifolia, Presl.	—
Permien	—	—	S. Thoni, Mahr.
Houiller supérieur	—	—	S. angustifolium, Germar.
Houiller moyen	—	—	S. erosum, L. et H.
Culm	—	—	S. dissectum, Stur.
Dévonien	—	—	S. antiquum, Dawson.

TAB. IV

FOUGÈRES VIVANTES

TERRAIN	POLYPODIACÉES	CYATHEACÉES	OSMONDÉES	GLEICHENIÉES
—	—	—	—	—
Pliocène	Pteris Aquilina L.	—	Osmonda regalis.	
Miocène	Aspidium, F. M.	—	O. Heeri.	
Eocène	Blechnum Brauni.	Aesophyla thelypteroïdes.	O. eocenica.	
Crétacé	Aspidium Forsteri.	Hemithelia longaeva.	O. cretacea.'	Gleichenia protogaea.
Jurassique	Asplenium Withbiense.	Dicksonia saportana.	Todea australis.	Gleichenia bindrabrunensis.
Liasique	Clathropteris platyphylla.	Laccopteris elegans.	—	—
Triasique	Dictyophyllum Nilsoni.	L. Münsteri.	—	—
Permien	—	Rachiopteris dicksonioides.	—	—
H^{ller} sup.	Oligocarpia Gutbieri.	Coulopteris Phillipsii.	—	—
H^{ller} moy.	—	—	—	—

TAB. V

FOUGÈRES VIVANTES

TERRAIN	SCHIZÉACÉES	MARATTIÉES	HYMÉNOPHYLLÉES
—	—	—	—
Pliocène	—	—	Trichomanes radicans.
Miocène	Lygodium Gaudini.	Marattia Ungeri.	—
Eocène	L. parvifolium.	—	—
Crétacé	L. cretaceum.	Danaeites Schlotheimii.	—
Jurassique	—	Marattiopsis spatulata.	—
Liasique	—	Marattia Münsteri.	—
Triasique	—	Danaeopsis Rumphii.	—
Permien	—	—	—
Houiller supérieur	Senftenbergia Fayoli.	—	Hymenophyllum Weisii.
Houiller moyen	Senftenbergia elegans.	—	Sphenopteris fertilis.

TAB. VI

GENRES DE FOUGÈRES AYANT DISPARU

TERRAIN	PRE-PECOPTERIS	PECOPTERIS MARATTIOIDES	DICTYOPTERIS	ALETHOPTERIS
—	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—
Miocène	—	? lignitum.	—	—
Eocène	—	? bohernica, Coëm.	—	—
Crétacé	—	? arctica, Heer.	—	—
Jurassique	—	—	—	—
Liasique	—	? angusta, Heer.	—	—
Triasique	—	? triasica, Heer.	münsteri, Brongt.	—
Permien	Beyrichi, Weiss.	arborescens, Brongt.	Brongniarti, Gutbier.	ovata, Goep.
Houiller supér.	Pluckeneti, Brongt.	polymorpha, Brongt.	Schützei, Roemer.	Grandini, Brongt.
Houiller moyen	Miltoni Artis.	Pteroides, Brongt.	obliqua, Bunb.	Serli, Brongt.
Culm	Stricta Gœppert.	—	—	discrepans Dawson.

TAB. VII

GENRES DE FOUGÈRES AYANT DISPARU

TERRAIN	NÉVROPTERIS	ODONTOPTERIS	MARIOPTERIS	CARDIOPTERIS	SPHENOPTERIS
—	—	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—	—
Miocène	—	—	—	—	? recensior, Unger.
Eocène	—	—	—	—	? eocenica, Unger.
Crétacé	—	—	—	—	? corrugata, Unger.
Jurassique	—	—	—	—	? Mantelli, Brongt.
Liasique	—	—	—	—	—
Triasique	—	—	—	—	Geinitzii, Goep.
Permien	rotundata, Br.	permiensis Weiss.	—	—	Jwickaviensis, Gutbier.
H^{ller} sup.	longifolia, Goep.	Brardi, Brongt.	—	—	Corallioides, Gutbier.
H^{ller} moy.	flexuosa, Brongt.	britannica, Gutbier.	muricata (B.) Z.	—	Hoeninnghausi, Brongt.
Culm	antecedens, Dawson.	—	—	frondosa, Goep.	Schimperi, Goep.
Dévonien	—	—	—	—	splendens, Dawson.

TAB. VIII

GENRES DE FOUGÈRES AYANT DISPARU

TERRAIN	TAENIOPTERIS MARATTIOIDES	ANOMOPTERIS	THINNFELDIA	CYCADOPTERIS
Pliocène	—	—	—	—
Miocène	?affinis, Vis.	—	—	—
Eocène	?crassicosta, Mass.	—	—	—
Crétacé	—	—	—	—
Jurassique	major, L. et H.	—	—	heterophylla, Zigno.
Liasique	gigantea, Schenck.	—	obtusa, Schenk.	brauniana, Zigno.
Triasique	augustodunensis, Sap.	Mougeotii, Sch.	incisa, Schenck.	—
Permien	multinervis Weiss.	—	—	—
Houiller supér.	abnormis Gutbier.	—	—	—
Houiller moyen	—	—	—	—
Culm	—	—	—	—

TAB. IX

TERRAIN	CTENOPTERIS	SCLEROPTERIS	BOTHRIOPTERIS ZYGOPTERIS	CALLIPTERIS	CALLIPTERIDIUM
—	—	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—	—
Miocène	—	—	—	—	—
Eocène	—	—	—	—	—
Crétacé	—	—	—	—	—
Jurassique	grandis, Sap.	dissecta, Sap.	—	—	—
Liasique	cycadea, Brongt.	Pomelii, Sap.	—	—	—
Triasique	—	—	—	—	—
Permien	—	—	Z. Lacatti B. R.	lyratifolia, G.	—
H^{ller} sup.	—	—	B. forensis B. R.	conferta, B.	ovatum, Weiss.
H^{ller} moy.	—	—	Z. tubicaulis, U.	—	discretum, W.
Culm	—	—	Clepsydropsis duplex, U.	—	—

TAB. X. GENRES DE CYCADÉES AYANT DISPARU

TERRAIN	CORDAÏTE	CYCADOXYLON	MEDULLOSA	COLPOXYLON	POROXYLON
—	—	—	—	—	—
Triasique	—	—	—	—	—
Permien	Palmaenervis, Gr.	—	Stellata, Cotta.	—	Boysseti, B. R.
H^{ller} sup.	lingulatus, Gr.	Fremyi, B. R.	—	aeduense, Brongt.	Stephanense, B. R.
H^{ller} moy.	angustifolius, Gr.	—	—	—	—
Culm	—	—	—	—	—
Dévonien	Robbii Daws.	—	—	—	—

TAB. XI.

TERRAIN	NOEGGERATHIA	SIGILLAIRES LISSES	SIGILLAIRES CANNELÉES	STIGMARIA
—	—	—	—	—
Triasique	—	—	—	—
Permien	—	S. denudata, G.	—	flexuosa, B. R.
Houiller supér.	Schneideri, B. R. R. Z.	S. Brardi, Brongt.	S. elegans, Brongt.	ficoides, Br.
Houiller moyen	foliosa, Sternb.	S. Grasiana, Brongt.	S. Saullii, Brongt.	areolata, Dawson.
Culm	—	—	S. Woltzii, Brongt.	perlata, Dawson.
Dévonien	—	—	—	pusilla, Dawson.

TAB. XII

GENRES DE CYCADÉES AYANT DISPARU.

TERRAIN	CYCADITES	ZAMITES	OTOZAMITES	PODOZAMITES
—	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—
Miocène	—	Gorceixianus, Sap.	—	—
Eocène	—	tertiarius, Heer.	—	—
Crétacé	affinis.	arcticus, Goep.	Reglei, Sap.	ovatus, Schenck.
Jurassique	Lorteti, Sap.	Feneonis, Brongt	decorus, Sap.	angustifolius, S.
Liasique	rectangularis, Braun.	approximatus.	Hennoquei, Sap.	distans, Presl.
Triasique	—	—	—	—
Permien	inflexus.	—	—	—
Houiller supér.	—	carbonarius, B. R.	—	—

TAB. XIII

GENRES DE CYCADÉES AYANT DISPARU

TERRAIN	PTEROPHYLLUM	GLOSSOZAMITES	SPHENOZAMITES	CLATHROPODIUM
Pliocène	—	—	—	—
Miocène	—	—	—	—
Eocène	—	—	—	—
Crétacé	concinnum, Heer.	obovatus, Sch.	—	Morieri B. R.
Jurassique	crassum, Heer.	—	latifolius, Brongt.	megalophyllum, Sap
Liasique	Jaegeri, Brongt.	—	—	foratum, Sap.
Triasique	gracile, Sch.	oblongifolius, Sch.	—	—
Permien	Cottaeanum, Schen.	—	Rochei B. R.	—
Houiller supér.	carbonarium, B. R. R. Z.	—	—	—

TAB. XIV

FAMILLE DES SALISBURIÉES

TERRAIN	SALISBURIA	BAIERA	DICRANOPHYLLUM	WHITTLESEYA
—	—	—	—	—
Pliocène	adiantifolia, Ung.	—	—	—
Miocène	borealis, Heer.	—	—	—
Eocène	binervata, Lesq.	—	—	—
Crétacé	arctica, Heer.	leptopoda, Heer.	—	—
Jurassique	antarctica, Sap.	gracilis, Sap.	—	—
Liasique	flabellata, Heer.	Münsteriana, Presl.	—	—
Permien	martenensis, B. R.	Raymondi, B. R.	gallicum, Gr.	—
Houiller	—	—	striatum, Gr.	integrifolia, Lesq.
Houiller moyen	—	—	—	crassifolia, Lesq.

TAB. XV

FAMILLE DES TAXÉES

TERRAIN	TAXITES	PODOCARPÉES	TORREYA	POA-CORDAÏTES
Pliocène	—	Hoeringiana.	nucifira, S. et Zucco.	—
Miocène	Olrichi, Heer.	graciles, Sap.	brevifolia, Sap.	—
Eocène	nitida, Ludwig.	eocenica, Ung.	—	—
Crétacé	—	—	dicksoniana, Heer.	—
Jurassique	longifolia, Mas.	—	—	—
Liasique	vicentina, Mas.	—	—	—
Permien	Grand'Euryi, B. R.	—	—	oxyphyllus, Gr.
Houiller	Squama taxinoides, B. R.	—	—	linearis, Gr.

TAB. XVI

FAMILLE DES ARAUCARIÉES

TERRAIN	ARAUCARIA	DAMMARA	ALBERTIA	ULLMANNIA	WALCHIA
—	—	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—	—
Miocène	A. Duchartrei, Watt.	—	—	—	—
Eocène	Sternbergi, Goep.	—	—	—	—
Crétacé	crassifolia, Ecchw.	albens, Presl.	—	—	—
Jurassique	Moreauana, Sap.	—	—	—	—
Liasique	Phillipsii, Carr.	—	—	—	—
Triasique	—	—	Brauni, Sch.	Bronni, Goep.	—
Permien	—	—	elliptica, Sch.	frumentaria, Goep.	hypnoides, Br.
					imbricata, Sch.
H^ller sup.	—	—	—	—	piniformis, Schlot.

TAB. XVII

FAMILLE DES SÉQUOIÉES

TERRAIN	SEQUOIA	VOLTZIA	TAXODIUM	WIDDRINGTONIA	GLYPTOSTROBUS
—	—	—	—	—	—
Pliocène	Tournalii, Sap.	—	—	—	heterophyllus, H.
Miocène	Couttsiae, Heer.	—	miocenicum, Heer.	graciles, Sap.	europaeus, Heer.
Eocène	imbricata, Heer.	—	disticum, Heer.	antiqua, Sap.	gracillimus, L.
Crétacé	fastigiata, Heer.	—	—	subtilis, Heer.	—
Jurassique	—	—	—	Dunkeri, Etting.	—
Liasique	—	pachyphylla, Sch.	—	liasica, Kurr.	—
Triasique	—	heterophylla, Sch.	—	keuperiana, Heer.	—
Permien	—	—	—	—	—

TAB. XVIII

FAMILLE DES CUPRESSINÉES

TERRAIN	CUPRESSINITES	THUYITES	CALLITRIS	JUNIPERUS	LIBOCEDRUS
—	—	—	—	—	—
Pliocène	Linkianus, Goep.	Breyniana, Sch.	—	—	gracilis.
Miocène	recurvatus, Bow.	ungeriana, Sch.	europaea, Sch.	hartmanniana, S.	salicornioides, Heer.
Eocène	globosus, Bow.	Mengeana, Goep.	Brongniarti, End.	eocenica, Ett.	—
Crétacé	obtusifolius, Eich.	Meriani, Heer.	—	—	cretacea, Heer.
Jurassique	—	elegans, Sap.	—	—	—
Liasique	—	Schloenbachi, Schenck.	—	—	—
Permien	—	Parryanus, Heer.	—	—	—
H[ller] sup.	—	—	—	—	—
H[ller] moy.	—	Parryanus, Heer.	—	—	—

TAB. XIX

FAMILLE DES ABIÉTINÉES

TERRAIN	PINUS	ABIES	ALIETITES	CEDRUS	LARIX
—	—	—	—	—	—
Pliocène	pumilio, Haenke.	pinsapo, L.	—	—	sphaeroides.
Miocène	Ungeri, Stur.	leuce, Heer.	medullosus, Ludw.	—	austriaca (U.) Sch.
Eocène	polaris, Heer.	Omalii, Coëm.	—	Leckenbyi, Sch.	—
Crétacé	Quenstedti, Heer.	Briarti, Coëm.	Linkii, Roem.	Cornetj, Roen.	—
Jurassique	Nordenskioldi, Heer.	—	Mantelli, Carr.	—	—
Liasique	Nillssoni, Nath.	—	Sternbergii, G.	—	—
Triasique	—	—	—	—	—
H^{ller} sup.	—	—	—	—	—

TAB. XX.

FAMILLE DES GNÉTACÉES

TERRAIN	EPHEDRITES	SAMAROPSIS	CALAMODENDRON	ARTHROPITUS	BORNIA
—	—	—	—	—	—
Pliocène	Sotzkiana, Sch.	—	—	—	—
Miocène	Johniana, Sch.	—	—	—	—
Eocène	—	—	—	—	—
Crétacé	—	—	—	—	—
Jurassique	antiqua, Heer.	rotundata, Heer.	—	—	—
		caudata, Heer.			
Liasique	—	—	—	—	—
Triasique	—	—	—	—	—
Permien	—	—	—	—	—
H^{ller} sup.	—	fluitans, G. R.	Gnetopsis ellitica, B. R. R. Z.	G. augustodunensis, B.R.	—
H^{ller} moy.	—	—	—	—	radiata, Brongt.
Culm	—	—	—	—	esnostensis, B. R.

TAB. XXI

MONOCOTYLÉDONES

TERRAIN	CYPERITES	GRAMINÉES	LILIACÉES	PANDANÉES	PALMIERS
—	—	—	—	—	—
Pliocène	G. anconianus, Gaud.	Bambusa Lugdunensis, Sap.	—	—	—
Miocène	Carex tertiaria, Heer.	Poacites bilinicus, Sch.	Gloriosites rostratus, Heer.	—	Chamacrops helvetica, Heer.
Eocène	Sezannensis, Sap.	P. protogaeus, Wat.	Dracoenites sepultus, Sap.	Ludoviopsis discerpta, Sap.	Sabal primaeva, Sch.
Crétacé	—	—	—	Pandanus austriacus, Ett.	Palmacites varians, Corda.
Jurassique	protogaeus, Heer.	—	Yuccites vittatus, Sap.	Podocarya Bucklandi, Unger.	—
Liasique	—	Bambusium liasicum, Heer.	Yuccites hettangiensis, Sap.	—	—
Triasique	—	—	Yuccites vogesiacus, Sch.	—	—

TAB. XXII

DICOTYLÉDONES APÉTALES

TERRAIN	CUPULIFÈRES	BÉTULINÉES	SALICINÉES	JUGLANDÉES
Pliocène	Fagus sylvatica, Sap.	Alnus glutinosa, Sap.	S. alba, L.	Juglans globosa, Ludwig.
Miocène	Carpinus betuloides, Ung	B. elliptica, Sap.	Populus latior, Al. Br	Juglans bilinica, Unger.
Eocène	Castanea eocenica, Wat.	B. ostryaefolia, Sap.	S. primaeva, Sap.	Juglandites peramplus, S.
Crétacé	Quercus anceps, Lesq.	B. denticulata, Heer.	S. Hartigi, Sch.	J. crassipes. Heer.
Jurassique	—	—	—	—

	MYRICÉES	LAURINÉES	PROTÉACÉES	URTICINÉES
Pliocène	Myrica Faga, L.	Laurus nobilis, L.	Banksites integer, Sap.	Planera crenata, S.
Miocène	Comptonia oenengens., H	Persea Braunii, Heer.	Grevillea lignitum, Ett.	Celtis Japeti, Unger.
Eocène	Myrica incisa, Sap.	Daphnogene Sez., Sap.	Banksites aculeatus, Sap.	Ulmus antiquissima, Sap.
Crétacé	Myrica cretacea, H.	Laurus cretacea, Ett.	Banksia longifolia, Ett.	Ficus Geinitzii, Ett.
Jurassique	—	—	—	—

TAB. XXIII

DICOTYLÉDONES DIALYPÉTALES

TERRAIN	ARALIACÉES	POLYCARPÉES	RHAMNÉES	NYMPHÉINÉES
Pliocène	Hedera Helix, L. Gaud.	Liriodendron Procac. U.	Ilex Falsani, Sap.	—
Miocène	Aralia palaeogaea, Ett.	Magnolia Dianae, Ung.	Zyziphus bilinicus, Ett.	Anoectomeria Brong., S.
Eocène	Aralia sezannensis, Sap.	Asimina eocenica, Lesq.	Rhamnus Sezan, Sap.	Nymphaea Arethus., Br.
Crétacé	Aralia formosa, Heer.	Magnolia speciosa, Sap.	—	—
Jurassique	—	—	—	—

TAB. XXIV

DICOTYLÉDONES DIALYPÉTALES

TERRAIN	MALVACINÉES	ACÉRINÉES	TÉRÉBENTHINÉES	MYRTINÉES
—	—	—	—	—
Pliocène	Grewia crenata, Heer.	Acer compestre, S.	Carya maxima, Sap.	Punica granatum, Sap.
Miocène	Tilia lignitum, Ett.	Acer trilobatum, Al. Br.	Rhus incisa, Sap.	Myrtus helvetica, Heer.
Eocène	Dombeyopsis occid. Lesq.	Sapindus caudatus, Lesq.	Ailantus prisca, S.	Eucalyptus italica, Mar.
Crétacé	—	—	—	—
	ROSIFLORÉES	PAPILIONACÉES	CAESALPINIÉES	MIMOSÉES
	—	—	—	—
Pliocène	Cerasus crassa, Ludwig.	Genista brivisiliquata, L.	—	—
Miocène	Spiraea vetusta, H.	Cytisus oeningiensis, H.	Cassia aegaea, Uug.	Mimosa Weberi, Sc.
Eocène	Cotoneaster protogaea, S.	Phaseolites obconicus, S.	Caesalpinites gracilis, S.	Acacia longinqua, S.
Crétacé	—	Cytisus cretaceus, Dunk.	Palaeocassia angustif. E.	—

TAB. XXV

DICOTYLÉDONES MONOPÉTALES

	ERICINÉES	ASCLÉPIADINÉES	DIOSPYRINÉES	COMPOSÉES
	—	—	—	—
Pliocène	Vaccinium rarident., S.	Fraxinus gracilis, Sap.	—	—
Miocène	Erica nitidula, A. Br.	Olea Feroniae, E. H.	Sapotacites parvifol., Ett.	Bidentites antiquus
Eocène	Andromida atavia, Sap.	Nerium parisiense, Sap.	Diospyros praecursor, S.	Cypselites gypsorum, S.
Crétacé	—	—	—	—

TAB. XXVI

	LONICÉRINÉES	CONVOLVULINÉES	LABIÉES	PERSONÉES
	—	—	—	—
Pliocène	—	—	—	—
Miocène	Galium antiquum, H.	Convolvulus moenan., L.	Petraea borealis, Ett.	Bignognia Damaris, H.
Eocène	Cinchonidium bilin., Ett.	Porana Ungeri, H.	Myoporum ambiguum, E.	Bignognia eocenica, Ett.

CHAPITRE VI.

UTILITÉ DE L'ÉTUDE DES PLANTES ANCIENNES AU POINT DE VUE DE L'ÉVOLUTION VÉGÉTALE.

Lorsque l'esprit s'arrête à considérer la perfection avec laquelle la silice et le carbonate de chaux ont conservé les organes des plantes les plus simples comme les plus compliqués à tous les étages et dans tous les pays, on reste convaincu que la botanique fossile, plus favorisée que bien d'autres sciences s'occupant des choses du passé, sera à même dans quelques années de fournir les détails les plus précis, les plus complets, les plus sûrs, sur le port, l'organisation interne, les mœurs des plantes qui ont précédé les nôtres.

Elle pourra suivre avec des données certaines les différentes étapes parcourues par les genres qui constituent une famille de plantes actuelles, depuis leur apparition ou leur distinction d'autres genres très voisins jadis, mais répartis à notre époque dans d'autres familles plus ou moins éloignées.

Certains organes dont nous ne comprenons plus guère l'utilité chez les plantes actuelles, chambre pollinique, pollen pluricellulaire des Conifères, faisceaux diploxylés des frondes de Cycadées, etc., auront leur présence expliquée par une sorte d'atavisme qui maintiendra encore pendant quelques siècles ces particularités d'organisation destinées à disparaître.

La masse des faits qui restent à lire entre les feuillets des schistes ornés d'empreintes végétales, et à éclaircir dans les blocs siliceux ou calcaires, est immense, et les découvertes nombreuses qui se succèdent sans interruption expliquent les efforts tentés de toutes parts pour arracher à la nature les secrets du passé.

Il semble que, de même que dans le règne animal, les différentes classes, voire même les embranchements du règne vétégal qui sont maintenant bien séparés, ont eu à diverses époques des types offrant des caractères de transition, comblant en partie l'intervalle qui sépare ces classes ou ces embranchements.

Ainsi, les plantes les plus élevées en organisation, les Dicotylédones angiospermes actuelles, sont reliées aux plantes cryptogames par plusieurs classes importantes, telles que celle des Gnétacées, des Conifères, des Cycadées; parmi les plantes cryptogames, les Lycopodinées hétérosporées, telles que les Sélaginellées et les Isoëtées, sont celles qui

paraissent le moins éloignées des plantes Gymnospermes (Conifères, Cycadées).

Mais il existe entre ces différents groupes une distance considérable que les recherches paléobotaniques diminuent chaque jour.

Dans les tableaux que nous avons donnés au précédent chapitre, on a pu voir que jusqu'ici les plantes dicotylédones angiospermes n'avaient pas été rencontrées dans les couches plus anciennes que le terrain crétacé. On ne peut affirmer, il est vrai, que des recherches ultérieures ne feront pas descendre cet embranchement beaucoup plus bas, car l'apparition brusque, en quelque sorte non préparée, des plantes qui le composent a lieu d'exciter l'étonnement. Il n'en est pas moins certain que les types intermédiaires qui ont précédé leur apparition doivent être recherchés dans les couches plus anciennes, peut-être avec des caractères d'appareils végétatifs différents.

Nous avons signalé dans le terrain houiller de Rive-de-Gier des graines contenues au nombre de quatre dans une sorte d'ovaire résultant de la soudure partielle de deux bractées ; une de ces graines a été représentée E, fig. 25, et en A, fig. 33, avec tous les détails d'organisation internes. Des poils nombreux insérés sur les parois de la cavité entouraient les graines et achevaient de les protéger ; à la maturité, ces graines surmontées de longues aigrettes plumeuses étaient emportées au loin par les vents ;

si leur chute s'effectuait dans l'eau, des lacunes aériennes placées dans l'épaisseur du testa à la région micropylaire les empêchaient de sombrer, et leur assuraient, par flottage, un autre mode de dissémination. Mais leur structure interne indique que ces graines, en apparence d'Angiosperme, sont en réalité, en raison de la chambre pollinique et des archégones contenus dans le sac embryonnaire, des graines de Gymnospermes.

Certaines Gymnospermes de l'époque houillère présentent donc un des caractères appartenant à un sous-embranchement supérieur, celui des Angiospermes.

Actuellement ces deux sous-embranchements sont liés par les Gnétacées.

GNÉTACÉES.

Aux Conifères et aux Cycadées les Gnétacées empruntent en effet une assez grande analogie de structure dans les différentes pièces qui constituent l'ovule.

On y trouve une chambre pollinique dans laquelle pénètrent directement les grains de pollen, des archégones placés à la partie supérieure du sac embryonnaire, et souvent un double système vasculaire, l'un extérieur à l'endotesta ligneux, l'autre intérieur plus ou moins développé, comparable à celui des ovules de Cycadées.

Des Angiospermes, elles offrent un tégument analogue à un ovaire, mais sans stigmate et n'empêchant pas les grains de pollen de pénétrer dans l'intérieur de l'ovule.

Le *Gnetopsis elliptica,* dont nous avons parlé plus haut, avec son ovaire pluriovulé est à ce point de vue plus franchement angiosperme.

Le bois de la tige et des rameaux est centrifuge, disposé en un ou plusieurs cercles concentriques formés de lames rayonnantes séparées par des rayons médullaires.

Les éléments du bois présentent de vrais *vaisseaux* ouverts, ponctués, aréolés, du parenchyme ligneux, comme nos Dicotylédones angiospermes, des trachéides ponctuées aréolées comme nos Conifères et nos Cycadées.

L'un des faits les plus saillants est la présence dans les graines de Gnétacées d'une chambre pollinique et surtout d'Archégones, organes reproducteurs femelles d'un grand nombre de Cryptogames. Il est clair que, si on ne tenait compte que de ce seul caractère dans la classification, l'embranchement des Cryptogames devrait commencer aux Gnétacées.

Mais le tégument ovarien, le tube pollinique et la complication du système ligneux les ont fait ranger par la plupart des botanistes parmi les Dicotylédones angiospermes.

Conifères.

Dans l'ovule des Conifères, le système vasculaire ne pénètre pas dans l'intérieur du tégument, il s'arrête à la Chalaze ; tandis que dans les ovules des Gnétacées et des Cycadées, les faisceaux vasculaires pénètrent généralement dans l'intérieur et enveloppent une partie plus ou moins importante du nucelle, la chambre pollinique est également moins développée que dans ces deux dernières classes.

Le faisceau foliaire des Conifères, comme celui des Gnétacées, est simple, c'est-à-dire n'est formé que d'un seul bois qui est centrifuge.

Le bois des Conifères est formé de trachéides ponctuées, aréolées, d'un peu de parenchyme ligneux, mais ne présente jamais de véritables vaisseaux, se distinguant ainsi du bois de la plupart des Dicotylédones (Drymis excepté) et de celui des Gnétacées.

L'ovule présente dans le sac embryonnaire ou prothalle femelle un nombre variable d'*archégones*. Les grains de pollen peuvent venir se mettre presque en contact avec le sac embryonnaire ; ils offrent souvent une division cellulaire intérieure composée de deux à quatre cellules, dont la plus grosse terminale se développe en tube pollinique. Une division cellulaire existe également, comme

l'on sait, dans les microspores des Sélaginelles et des Isoëtes.

Comme on le voit, certains caractères des Angiospermes disparaissent (complexité et division du travail dans les éléments ligneux, tégument ovarien). Certains caractères cryptogamiques, au contraire, persistent ou s'accentuent (archégone, pollen pluricellulaire rappelant les divisions de certaines microspores).

Cycadées.

Dans les Cycadées, le sommet du nucelle est toujours creusé par une cavité, *chambre pollinique*, destinée à recevoir et à conserver plus ou moins longtemps les grains de pollen ; ceux-ci présentent également des divisions dans leur intérieur.

Les ovules ont un double système vasculaire, l'un extérieur par rapport au noyau ligneux, l'autre qui lui est intérieur. Ce dernier se distribue à la base du nucelle qu'il embrasse, en s'irradiant dans la région où ce dernier est soudé au tégument, mais ne s'élève pas au delà.

On a signalé dans quelques espèces de Cycadées un fait important, c'est celui de la formation de l'*embryon* seulement après que les graines ont été semées ; jusque-là dans leur intérieur il ne s'est formé que le tube proembryonnaire, malgré la

pénétration des grains de pollen dans la chambre pollinique, plus de cinq mois avant le semis.

Sur plus de trois cents graines silicifiées les plus variées, trouvées dans les silex d'Autun et de Saint-Etienne et que nous avons préparées, nous n'avons trouvé aucune trace d'embryon ; et cependant dans beaucoup d'entre elles on voit des archégones, des grains de pollen dans la chambre pollinique et les cellules de l'endosperme (fig. 26, B, fig. 33, A). Le fait particulier cité plus haut paraît avoir été un fait général à l'époque houillère. Les graines dans lesquelles l'embryon *aurait apparu au moment de la germination,* ayant été entraînées dans les eaux siliceuses, ont subi un arrêt immédiat dans leur développement ; elles sont donc dans l'état qu'elles possédaient, au moment où elles ont pénétré dans les eaux pétrifiantes.

L'intérieur de la tige des Cycadées est occupé par une large moelle *m,* fig. 52, dont les cellules sont gorgées d'amidon, qu'entoure un cylindre ligneux simple ou formé de plusieurs anneaux concentriques *b,* eux-mêmes composés alternativement de bois et de liber. Les lames vasculaires rayonnantes qui composent les anneaux ligneux sont séparées par de larges rayons médullaires ; vers la moelle elles présentent des trachéides spiralées et annelées ; plus en dehors d'éléments rayés ; enfin à l'intérieur les trachéides portent sur leurs faces latérales plu-

sieurs rangées de ponctuations aréolées, dont le pore central est allongé, de forme elliptique et disposé obliquement.

Les anneaux ligneux surnuméraires et extérieurs sont uniquement formés de trachéides ponctuées et de liber.

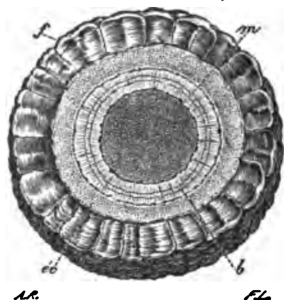


Fig. 52. — Coupe transversale du tronc d'un *Cycas* réduit à 1/6 de sa grosseur.

En dehors du bois se trouve une couche corticale parenchymateuse *éc*, très épaisse relativement à l'épaisseur du cylindre ligneux. La surface des tiges reste couverte par les bases persistantes des pétioles *f*, qui par leur réunion et un accroissement *propre* ultérieur forment une cuirasse épaisse et continue. Souvent il se développe entre ces bases de feuilles des lames de liège qui, en remplissant tous les intervalles, rendent la surface extérieure lisse et unie.

Les cordons vasculaires qui parcourent les feuilles sont composés de deux bois, l'un *centripète*, l'autre *centrifuge*. Le premier contient des trachéides réticulées et ponctuées disposées *sans ordre*, dont les plus grêles, les premières formées, sont en contact avec le deuxième bois; celui-ci, différencié tardivement et composé de trachéides réticulées et ponctuées, quelquefois sans ornements, disposées en séries rayonnantes, s'est développé en sens contraire du premier bois, par conséquent en direction *centrifuge*.

Entre ces deux portions du cordon foliaire se trouvent les éléments spiralés, tantôt en contact, tantôt séparés par quelques cellules à minces parois. Le liber de la portion centrifuge du cordon est représenté par du parenchyme libérien et par quelques cellules grillagées. Cette structure double du faisceau s'arrête à la portion accrescente corticale et ne se retrouve plus dans aucune partie de la tige.

Les Cycadées, comme on le voit dans les quelques lignes qui précèdent, conservent donc les caractères cryptogamiques reconnus chez les Conifères et que nous avons énumérées; mais, en plus, leur cordon foliaire devient double, le bois de la tige restant simple et formé uniquement de bois centrifuge.

Isoëtées.

Dans les *Isoëtes,* la tige extrêmement courte est occupée à son centre par un cylindre ligneux, de petit diamètre, formé de trachéides spiralées et rayées, dont la différenciation s'est faite de la périphérie vers le centre; le cylindre ligneux est donc *centripète*. Dans les tiges adultes, en dehors du cylindre ligneux, une zone génératrice produit vers l'extérieur une couche épaisse d'écorce secondaire et vers l'intérieur une couche *mince* d'un mélange d'éléments libériens criblés, de cellules remplies d'amidon et *quelquefois* de trachéides isolées ou groupées en petit nombre. Cette couche mince d'éléments divers serait pour certains botanistes l'analogue du bois centrifuge, si développé et si homogène des Sigillaires.

Les feuilles des Isoëtes sont allongées, subtriangulaires, terminées en pointe, dilatées à la base, parcourues dans toute leur longueur par quatre lacunes aérifères coupées par des diaphragmes. Quand il y a des stomates, c'est le long de ces lacunes qu'ils sont localisés. La feuille n'a qu'un seul faisceau vasculaire, la section en est triangulaire; le cordon n'est composé que de bois *centripète* à liber extérieur.

La tige bulbiforme des *Isoëtes* est entourée de

feuilles stériles et de feuilles fertiles. Ces dernières portent à leur base du côté de la tige, plongés dans l'épaisseur de la feuille, des *microsporanges* et des *macrosporanges*. L'ordre de succession de ces trois espèces de feuilles est le suivant : celles à macrospores, les premières formées, sont placées à la base, ou en dehors ; puis, au-dessus ou en dedans, les feuilles à microspores ; enfin, au sommet, une touffe de feuilles stériles.

Le développement des cellules mères des microspores et des macrospores présente les mêmes phases que celui des cellules mères des grains de pollen dans les anthères et du sac embryonnaire dans le nucelle des plantes phanérogames.

Au moment de la germination, la microspore *v*, fig. 33, se divise d'abord en deux cellules très inégales ; la plus petite, placée en bas dans la figure, reste stérile (prothalle mâle extrêmement réduit) ; la plus grande, par un développementt ultérieur, produit quatre *anthérozoïdes* spiralés *x*, munis de cils vibratiles aux deux extrémités.

La macrospore en germant se remplit de cellules (prothalle femelle) qui, en se multipliant, rompent l'enveloppe suivant les trois lignes radiantes de la macrospore *y* ; un premier archégone *z* apparaît sur la partie du prothalle qui fait saillie, s'il n'est pas fécondé par les anthérozoïdes ; d'autres apparaissent successivement. L'oosphère contenue dans l'archégone, après sa fécondation, se partage

par cloisonnement en huit cellules, dont par divisions successives deux forment la première racine, deux le pied, deux autres la tige; enfin les deux dernières produisent le première feuille.

Nous avons rapproché (fig. 33) des microspores et des macrospores de *Lepidodendron rhodumnense*, pour montrer leurs analogies avec les organes correspondants des *Isoëtes*. On voit en *m* une tétrade de microspores, avec une sorte d'anneau élastique en *n*, et en *o* une microspore encore munie d'une portion de l'anneau, puis libre, et présentant à l'intérieur une division cellulaire.

En *u* est figurée une macrospore vide présentant une sorte de canal micropylaire *d'*, en P une autre macrospore avec le prothalle femelle un peu rétracté, mais remplissant primitivement la macrospore; au sommet, dans la région micropylaire, on distingue un seul archégone.

Certaines macrospores présentent des masses arrondies *r s*, revêtues d'un épiderme épais; dans quelques-unes, *s*, on aperçoit du tissu cellulaire.

Ces divers états laisseraient supposer que l'oosphère fécondée, au lieu de se développer immédiatement comme chez les *Isoëtes*, restait quelque temps à l'état de vie latente.

Le *Lepidodendron rhodumnense*, par l'organisation de sa tige, C, fig. 33, de ses fructifications, B, le mode de germination de ses macrospores, aurait

occupé dans l'échelle botanique un rang plus élevé que les Isoëtées actuelles.

Malgré ce degré plus élevé d'organisation que présentent certains Lepidodendron, l'intervalle qui les sépare des Cycadées est encore considérable, quoique moins grand que celui qui existe entre ces dernières plantes et les Isoëtes.

Les *Cycadées* ne possèdent du bois centripète que dans leur cordon foliaire; la tige n'a que du bois centrifuge. Les Isoëtes, au contraire, ont du bois centripète dans leur cordon foliaire et dans la tige, mais n'ont pas de bois centrifuge, car on ne peut guère considérer comme bois se différenciant du centre à la périphérie la couche mince, citée plus haut, formée d'un mélange d'éléments libériens criblés de cellules pleines d'amidon, et *parfois* de quelques trachéides.

Les grains de pollen (prothalle mâle) des Cycadées éprouvent bien une division cellulaire interne, mais la plus grosse des cellules produit un tube pollinique, et non des anthérozoïdes comme chez les Isoëtes.

L'ovule des Cycadées, dans lequel le sac embryonnaire contient le prothalle femelle renfermant des archégones, en se transformant en graine, arquiert avant de quitter la plante tous les éléments nécessaires à sa fécondation; les archégones s'y sont développés, les grains de pollen ont pénétré dans la chambre pollinique et la fécondation,

qu'elle ait lieu dans un temps très court ou qu'elle soit tardive, n'en est pas moins assurée dans un espace complètement clos qui est la graine.

Dans les Isoëtes, au contraire, ce n'est qu'après la germination de la macrospore que les archégones se développent et sont fécondés par les anthérozoïdes ; si la macrospore quittait la plante mère, comme cela arrive dans beaucoup de cryptogames, ce ne serait pas en emportant avec elle les anthérozoïdes destinés à la féconder.

Si l'observation que nous avons rapportée plus haut relative au L. *rhodumnense* est confirmée (comme les macrospores et les microspores observées étaient encore au milieu des bractées du cône écrasé, on doit rester sur une certaine réserve), après la fécondation, la macrospore, dont le canal micropylaire était oblitéré par une sorte de cloison transversale *u d'*, aurait pu être transportée à la manière des graines et germer quand l'enveloppe coriace de l'exospore s'était ramollie par la pourriture.

A la suite des Lepidodendron, vient se placer la grande famille des Sigillaires, dont nous avons fait connaître les traits principaux d'organisation, elle comble une partie de l'intervalle compris entre les Isoëtes et les Cycadées.

Cette famille, comme nous l'avons vu, se divise en deux grandes sections : les Sigillaires à écorce cannelée, les plus anciennes, et les Sigillaires à

écorce lisse, qui ont fait plus tardivement leur apparition.

Les Sigillaires cannelées, par la prédominance de leur bois centripète dans leur tige aérienne (moins développé dans leur rhizome), par la nature de leurs fructifications *macrospores*, dont malheureusement on ne connaît pas encore l'organisation, sont voisines, mais distinctes, des Lepidodendron, qui n'ont jamais présenté de bois centrifuge ni dans leurs racines, ni dans leurs tiges, ni dans leurs feuilles, C, D, fig. 37; B, fig. 32 et C, fig. 33; G, fig. 37.

Les Sigillaires à écorce lisse, par la prédominance de leur bois centrifuge, dans leur tige aérienne, dans leur rhizome et dans leurs feuilles, A, fig. 32; I, fig. 37; L et F, fig. 37; et par leurs fructifications mâles (sacs polliniques et grains de pollen), s'éloignent notablement des Sigillaires du premier groupe, pour se rapprocher davantage des Cycadées.

Nous ne connaissons pas les fructifications des Sigillaires avec suffisamment de détails, pour préciser les points par où elles diffèrent de celles des Lepidodendron, ni ceux qui les rapprochent de celles des Cycadées; cette lacune sera comblée certainement un jour par quelque heureuse découverte.

Toutefois il existe encore un certain nombre de genres fossiles assez bien connus, par leur appa-

reil végétatif supérieur à celui des Sigillaires, qui semblent venir se placer à leur suite en se rapprochant de plus en plus des Cycadées ; ce sont les genres *Sigillariopsis,* B. R., Poroxylon, B. R., Médullosa, Cotta et Cycadoxylon B. R. Les Dycotylédones gymnospermes sont donc reliées actuellement avec les Cryptogames vasculaires d'une façon assez complète par les genres que nous venons de citer et qui se rattachent d'une part aux Isoetes et de l'autre aux Cycadées.

Mais ce n'est pas le seul trait d'union que l'étude des plantes fossiles peut établir entre les Cryptogames et les Plantes dicotylédones, gymnospermes ou angiospermes ; il en existe beaucoup d'autres qui sont tout indiqués ; nous ne rappellerons ici que la série de genres renfermant les nombreuses tiges équisétiformes dont nous avons parlé au chapitre IV.

Les genres Equisetum, Calamite, Annularia, Astérophyllite, connus suffisamment par l'organisation de leur tige, rhizome, feuilles et fructifications, sont, de l'avis de tous les paléobotanistes, des plantes appartenant aux cryptogames vasculaires, mais à différents états de perfectionnements organiques.

Les genres Calamite et Equisetum, malgré le développement souvent considérable de leur appareil végétatif (tige), ne présentent aucune trace de bois secondaire ; leurs fructifications spiciformes

ne renferment que des spores d'une seule nature, ils sont *isosporés*.

Les deux genres suivants, Annularia, Astérophyllite, quelquefois arborescents, n'offrent pas davantage de bois secondaire dans leur tige ou leurs rameaux, mais en revanche présentent deux sortes de spores; les unes produisent le prothalle mâle (microspores), les autres le prothalle femelle (macrospores).

Le genre *Macrostachia,* encore mal connu, mais muni de bois centrifuge rappelant celui des *Arthropitus,* peut être placé à la suite des deux genres précédents et nous conduit à la famille des Calamodendrées.

La plupart des représentants de cette famille possèdent dans leur tige leur rhizome, leurs racines, un bois secondaire extrêmement développé, formé de trachéides à ornements très variés (rayés, réticulés, ponctués).

Si quelques *vaisseaux* se montraient au milieu des trachéides de leur bois secondaire, il serait comparable à celui des Gnétacées.

Les fructifications mâles de quelques Bornia, Arthropitus, Calamodendron sont assez bien connues. Nous en avons figuré en B, fig. 17; en C, D, fig. 14.

Dans cette dernière figure nous avons réuni les formes d'épis rapportés aux *Annularia, Astérophyllites, Arthropitus, Calamodendron,* pour en

montrer la grande ressemblance *extérieure,* qui est telle que *sur les empreintes* il est difficile de les distinguer entre eux.

Nous avons décrit les grains renfermés dans les épis de Bornia comme des grains de pollen, parce que, dans le Culm, les rameaux de Bornia sont assez souvent accompagnés de petites graines, soit en empreinte, soit silicifiées, de formes et de dimensions très analogues à celles des Gnetopsis d'Autun et de Saint-Etienne, et que nous ne voyons actuellement aucune autre plante du même étage à laquelle on pourrait les attribuer avec quelque raison.

Quant aux épis mâles des Arthropitus, nous les avons rencontrés, très souvent avec leurs sacs en place renfermant les corpuscules mâles et dans une conservation parfaite, mais jamais, comme dans les épis d'Annularia et d'Astérophyllite, nous n'y avons reconnu de macrospores; bien plus, à la base de certains épis d'Arthropitus, écrasés, il est vrai, mais renfermant encore *entre* leurs bractées les sacs caractéristiques mâles détachés, nous avons rencontré également *entre* les bractées les graines que nous avons désignées et décrites sous le nom de *Gnetopsis augustodunense,* fig. 25, A et B.

Dans la chambre pollinique de ces graines se trouvent des grains pluri-cellulaires en tout semblables à ceux qui existent dans les sacs mâles des épis.

Ces faits multiples nous ont amené à avancer que les Calamodendrées s'étaient reproduites par des graines et non par des macrospores :

D'une part, les Calamodendron, au moyen de graines voisines du *Gnetopsis elliptica* contenu dans une sorte d'ovaire ;

D'autre part, les Arthropitus, par des graines analogues au *Gnetopsis augustodunense ;* enfin, les Bornia, par le *Gnetopsis primaeva* et G. *enosti.*

Les Calamodendrées, dont les espèces sont nombreuses et loin d'être toutes décrites, paraissent former une série importante dont l'une des extrémités confine aux cryptogames vasculaires équisétiformes, Astérophyllite, et l'autre aux Dicotylédones angiospermes touchant aux Gnétacées.

Si, à certains égards, le *Gnetopsis elliptica* paraît avoir, grâce à un ovaire plus complet, une certaine supériorité sur les graines de Gnétacées, il pourrait se faire cependant que par le mode de fécondation il leur fût sensiblement inférieur.

Il est difficile, en effet, en jetant un coup d'œil sur les grains de pollen des Arthropitus et des Calamodendron, *c, d,* fig. 14 ; et C, fig. 46, et en les comparant avec les granulations mâles des Bothryoptéridées, B, fig. 46, qui sont certainement des microspores contenues en même temps que des macrospores dans les capsules fructifères de ces plantes, il est difficile, dis-je, de ne pas être frappé de leur grande similitude ; l'intine, ou l'endospore,

dans les deux cas est divisée en un assez grand nombre de cellules polyédriques constituant le prothalle mâle, et l'on peut se demander si, les unes par division ultérieure ayant produit des Anthérozoïdes, les autres n'ont pas également émis des corps reproducteurs mobiles.

Nous touchons à un des problèmes les plus intéressants d'embryologie végétale que la botanique fossile, grâce à la merveilleuse conservation de certains échantillons, saura peut-être résoudre un jour.

L'appareil femelle des Conifères des Cycadées actuelles a conservé dans ses graines le prothalle et les archégones de certaines cryptogames, et il n'est pas téméraire de se demander si l'appareil fécondateur mâle n'aurait pas suivi aux époques reculées une marche parallèle, c'est-à-dire, si certains grains, que nous avons décrits sous le nom de pollen, transportés dans la chambre pollinique, n'auraient pas produit des anthérozoïdes, au lieu d'un tube pollinique.

Jusqu'ici l'observation directe n'a pu mettre en évidence la présence dans les cellules d'*anthérozoïdes,* êtres si éphémères et difficiles à observer dans les plantes vivantes, mais elle n'a pas constaté davantage la production de tubes polliniques.

Les seules présomptions en faveur d'une semblable hypothèse sont :

1° La grande analogie de forme de division cel-

lulaire, souvent de grandeur, entre certains grains de pollen et microspores fossiles ;

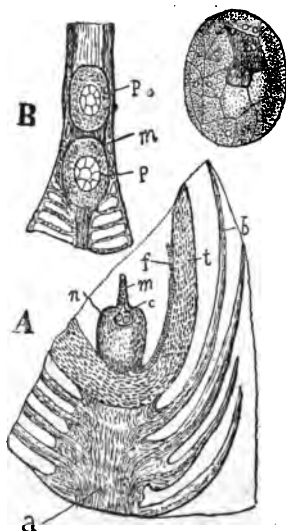


Fig. 53. — Fleur femelle de Cordaïte.

A. Fleur femelle de Cordaïte. — *a*, rameau supportant la fleur. — *b*, bractées. — *t*, *endotesta* ou coque dure, le *sarcotesta* ou enveloppe molle extérieure disparu. — *n*, nucelle. — *c*, chambre pollinique. — *m*, canal micropylaire. — *f*, faisceau vasculaire allant de la chalaze au micropyle dans le plan principal de l'ovule.

B. Région micropylaire du même ovule plus grossie montrant, en *m*, le canal micropylaire, et en *p*, *p*, deux grains de pollen engagés dans le canal pour se rendre à la chambre pollinique *c* où deux autres grains sont déjà arrivés. A droite et en haut de la figure un grain de pollen divisé d'*Aetheotesta*.

2° L'importance du prothalle mâle dans certains grains volumineux E, contenus dans la chambre pollinique des *Aetheotesta, Stephanospermum,* etc., qui remplit complètement le grain dont le diamètre est devenu bien supérieur à celui du canal micropylaire par où ils ont pénétré;

3° Quelquefois des perforations arrondies que l'on remarque sur les parois des cellules.

Le développement du prothalle mâle, très accentué dans certains pollen (*Codonospermum, Aetheotesta, Plylophospermum,* etc.), l'est beaucoup moins dans d'autres genres, *Diplotesta, Taxospermum, Cordaicarpus,* etc.

Sous ce rapport, il y a donc des différences notables. Nous donnons sous le même grossissement, comme terme de comparaison, fig. 53, un grain de pollen d'*Aetheotesta* pris dans la chambre pollinique (à droite et en haut de la figure), et plusieurs grains de pollen de Cordaïcarpus; parmi ceux-ci, les uns ont déjà pénétré dans la cavité creusée au sommet du nucelle, les autres sont en voie d'y entrer et sont engagés dans le canal micropylaire.

L'intine divisée est loin de remplir la cavité de l'exine. L'ovule que nous avons représenté est encore en place et entouré de bractées insérées sur l'axe à l'extrémité duquel l'ovule est placé; les divisions cellulaires du prothalle pouvaient se continuer dans la chambre pollinique; dans d'autres grains, au contraire, le prothalle remplit déjà

l'exine avant d'entrer dans la graine, mais ne cesse pas de s'accroître.

Nous donnons cette dernière figure pour montrer au lecteur que la matière pétrifiante a pu saisir les organes végétaux aux moments les plus variés de leur existence et nous les transmettre avec une fidélité parfaite.

Le nombre et la *variété* des grains de pollen contenus dans la chambre pollinique des graines fossiles, ou épars dans les blocs siliceux, sont très grands ; presque tous présentent une division cellulaire prononcée, qu'ils appartiennent à des plantes réputées phanérogames par tous les paléobotanistes, comme les Cordaïtes, ou bien qu'ils proviennent de Calamodendrées que beaucoup regardent comme des plantes cryptogames.

Quoi qu'il en soit, on peut rattacher le prothalle si réduit du pollen des Conifères et des Cycadées actuelles au prothalle si développé des grains de plantes beaucoup plus anciennes, et le considérer comme un exemple frappant d'atavisme.

Si l'hypothèse que nous avons émise venait à se vérifier, il y aurait un lien de plus entre les Gymnospermes et les cryptogames vasculaires.

En résumé, on peut conclure que dans les organes végétatifs, rhizome, tige, feuille, etc., le bois cryptogamique, c'est-à-dire à accroissement centripète ou multipolaire disposé sans ordre, s'atténue successivement dans ces organes et finit par

disparaître ; si l'on va des Lepidodendron aux Conifères en passant par les Sigillaires cannelées, les Sigillaires lisses, les *Sigillariopsis, Cordaïtes, Medullosa, Cycadoxylon,* et Cycadées.

Le bois phanérogamique ou centrifuge rayonnant s'accentue au contraire de plus en plus en parcourant dans le même sens la même série de genres.

De même, si l'on se dirige des Cryptogames aux Planérogames, en prenant comme point de départ les Annularia, en passant successivement par les Astérophyllites, les Macrostachia et par les nombreux représentants de la famille des Calamodendrées, on aboutit aux Phanérogames, en touchant aux Gnétacées. Là encore, le bois centripète disparaît peu à peu et fait place au bois rayonnant centrifuge, non seulement des phanérogames gymnospermes, mais à celui des phanérogames angiospermes.

Un perfectionnement analogue se remarque dans l'appareil de reproduction femelle. La macrospore de certains Lepidodendron, pour ainsi dire individualisée après la fécondation, tend à se rapprocher de la graine des gymnospermes.

Des découvertes restent encore à faire pour compléter les stades intermédiaires.

La distance à parcourir serait certainement diminuée si, comme nous le supposons, les organes mâles analogues à ceux des Cryptogames

Anthérozoïdes avaient pu féconder des graines de Gymnospermes ; le pollen divisé de ces dernières plantes s'expliquerait par une sorte d'atavisme rappelant le milieu spécial dans lequel les grains devaient opérer la fécondation chez des plantes vivant dans une atmosphère certainement plus humide que celle d'aujourd'hui.

Dans les pages qui précèdent, nous avons essayé d'intéresser le lecteur à l'étude des plantes fossiles, en montrant leur importance au point de vue :

1° De la détermination des terrains et de la recherche industrielle de la houille ;

2° De l'évolution de la vie végétale sur le globe ;

Heureux si nous avons accompli la tâche que avons acceptée.

TABLE DES FIGURES
